

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE
HUMEDAD RELATIVA PARA UNA CÁMARA EXISTENTE EN EL
LABORATORIO DE METROLOGÍA DE VARIABLES ELÉCTRICAS DE LA
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.**

Oscar Eduardo Alzate Arango

José Antonio Guerrero

Trabajo de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de
Ingeniero Físico

Pereira, Septiembre 2018
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
Programa de Ingeniería Física



DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE CONTROL DE HUMEDAD RELATIVA PARA UNA CÁMARA EXISTENTE EN EL LABORATORIO DE METROLOGÍA DE VARIABLES ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA.

Oscar Eduardo Alzate Arango
José Antonio Guerrero

Director: William Olarte Cortes

Pereira, 12 Septiembre de 2018

Programa de ingeniería Física.
Universidad Tecnológica de Pereira

Dedicatoria

Esta tesis la dedicamos a Dios quién supo guiarnos por el buen camino, darnos las fuerzas para seguir adelante y no rendirnos en los problemas que se presentaban, enseñándonos a enfrentar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A nuestras familias quienes por ellas somos lo que somos.
Para nuestros padres por su apoyo, consejos, comprensión, amor, y respeto
en los momentos difíciles, y por ayudarnos con los recursos necesarios para estudiar. Nos han dado todo lo que somos hoy como personas, nuestros
valores, nuestros principios, nuestro carácter, nuestro empeño y perseverancia,
nuestro coraje para conseguir nuestros objetivos.

A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos para podernos realizar como personas.

Contenido

Resumen	9
Introducción.....	9
Capítulo 1	10
1. Antecedentes	10
1.1. Descripción del Proyecto	12
1.1.1. Planteamiento Del Problema De Investigación	12
1.1.2. Importancia y Justificación.....	13
1.1.3. Objetivos.....	14
1.1.3.1. Objetivo General	14
1.1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
1.1.4. Alcances y Limitaciones.....	14
Capítulo 2	15
2.1. Marco Teórico	15
2.1.1. Metrología	15
2.1.2. Resultado de Medida	15
2.1.3. Incertidumbre de Medida.....	15
2.1.4. Patrón.....	15
2.1.5. Resolución	16
2.1.6. Trazabilidad	16
2.1.7. Metrología Industrial	16
2.1.8. Metrología Legal	16
2.1.9. Metrología Científica.....	17
2.1.10. Calibración	17
2.1.11. Temperatura.....	17
2.1.12. Escalas Termométricas	18
2.1.13. Humedad Relativa	18
2.1.14. Termómetros.....	19
2.1.15. Termómetros de Vidrio o Termómetro Químico	20
2.1.16. Termómetros Bimetálicos.....	21
2.1.17. Termómetros de Gas.....	21

2.1.18. Higrómetros	22
2.1.19. Higrómetro de Condensación	22
2.1.20. Higrómetro de Absorción	22
2.1.21. Higrómetro Eléctrico	23
2.1.22. Higrómetro Digital	23
2.1.23. Principio de Funcionamiento Electrónicos	23
2.1.24. Termohigrómetros	24
2.1.25. Termohigrómetros Análogos	24
2.1.26. Termohigrómetros Digitales	25
2.1.27. Efecto Peltier	26
2.1.28. Descubrimiento del Efecto Peltier	26
2.1.29. Aprovechamiento de este fenómeno.....	27
2.1.30. Células Peltier	27
2.1.31. Cámaras de Simulación de Condiciones Ambientales Existentes en la Industria.	28
2.1.32. Métodos de Calibración	29
2.1.33. Métodos Normalizados	29
2.1.34. Métodos Desarrollados por el Laboratorio	29
2.1.35. Métodos No Normalizados	29
2.1.36. Técnicas de Calibración.....	30
2.1.37. Comparación Directa	30
2.1.38. Calibración por Transferencia	30
2.1.39. Calibración por Sustitución	30
2.1.40. Calibración por Equilibrio	31
2.1.41. Calibración por Simulación	32
2.1.42. Calibración por Reproducción.....	33
2.1.43. Calibración por Puntos Fijos	33
2.1.44. Normatividad	34
2.1.45. Arduino ATmega 2560.....	35
2.1.46. Energía.....	36
2.1.47. Pines de Alimentación	36
2.1.48. Memoria	37
2.1.49. Entrada y Salida.....	37

2.1.50. Comunicación.....	37
2.1.51. Programación.....	38
2.1.52. Protección multifunción USB.....	38
Capítulo 3	39
3.1. Diseño de la Cámara.....	39
3.1.1. Módulo generador de calor.....	39
3.1.2. Módulo Generador de Humedad	40
3.1.3. Deshumidificador del sistema	41
3.1.4. Diseño del Deshumidificador	42
3.1.5. Homogenización.....	44
3.1.6. Módulo generador de condiciones iniciales	44
3.1.7. Módulo de enfriamiento	44
3.1.8. Diseño del Módulo de Control	46
3.1.9. Etapa de Potencia.....	47
3.1.10. Monitoreo de la Cámara	48
Capítulo 4	49
4.1. Resultados.....	49
Capítulo 5	52
5.1. Presupuesto.....	52
Capítulo 6	53
6.1. Conclusiones.....	53
Capítulo 7	53
7.1. Recomendaciones	53
Capítulo 8	54

Índice De Tablas

Tabla 1. Comparativo entre diferentes cámaras a nivel nacional.	13
Tabla 2. Comparativo entre las diferentes escalas de temperatura.	20
Tabla 3. Presupuesto Módulo de Humedad	53
Tabla 4. Presupuesto Total	54

Índice De Figuras

Figura 1. Termómetro de Vidrio o Termómetro Líquido	21
Figura 2. Termómetros a par bimetalico	22
Figura 3. Termómetro de Gas	23
Figura 4. Termohigrómetros análogo-tipo Residencial	26
Figura 5. Termohigrómetros Digital – TPM-TE-1365	27
Figura 6. Celda de Peltier	28
Figura 7. Cámara Pharma 2000	29
Figura 8. Calibración de un manómetro analógico de una balanza de masa.	31
Figura 9. Calibración de una pesa por sustitución	32
Figura 10. Calibración de una pesa por equilibrio	33
Figura 11. Simulador eléctrico de pH (mV).	33
Figura 12. Marco de pesas (reproducción).	34
Figura 13. Punto de hielo (Punto fijo).	35
Figura 14. Arduino ATmega 2560.	36
Figura 15. Arduino ATmega parte posterior.	36
Figura 16. Caja de calefacción.	40
Figura 17. Unidad de Humedad	41

Figura 18. Sistema Deshumidificador Vista Frontal	43
Figura 19. Vista Superior Deshumidificador	43
Figura 20. Vista en Isométrico Deshumidificador	44
Figura 21. Vista en Isométrico con Mesa Traslucida Deshumidificador	44
Figura 22. Vista Complementaria Deshumidificador	45
Figura 23. Caja de enfriamiento	46
Figura 24. Módulo de Control	47
Figura 25. Fuente de Poder	48
Figura 26. Modelo 1	50
Figura 27. Modelo 2	50
Figura 28. Modelo 3	50

Índice De Gráficas

Gráfica 1. Comportamiento de la Humedad Relativa en función de la Temperatura	20
Gráfica 2. Temperatura Ambiente de 23 a 40 Grados Celsius	50
Gráfica 3. Temperatura Ambiente de 23 a 4 Grados Celsius	51
Gráfica 4. Comportamiento de la Humedad Relativa con Temperatura Ambiente utilizando el deshumidificador con celdas Peltier, Rango:65 a 18 porciento	51
Gráfica 5. Comportamiento de la Humedad Relativa con Temperatura Ambiente utilizando el humidificador de ultrasonido, Rango 18 a 90 porciento	52

Resumen

Con este trabajo investigativo se realizó el diseño y construcción de un prototipo de cámara en la que se puedan simular y controlar condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa en un rango de operación determinado, la construcción de este prototipo está basada en una revisión bibliográfica de los protocolos de calibración de equipos que permitan medir variables ambientales, tales como la temperatura y humedad relativa existentes, se utilizó un equipo patrón (Fluke 5020 A) para realizar las pruebas soportando así la caracterización de la cámara, atendiendo a los requisitos técnicos nacionales e internacionales vigentes contenidos en la norma NTC-ISO/ICE 17025, la cual establece los estándares para el manejo de equipos y ensayos en laboratorios de metrología.

Este proyecto investigativo se desarrolló bajo la supervisión del Grupo de investigación de Metrología Bioeléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira, convirtiéndose en la base para futuras investigaciones en esta área.

Introducción

Colombia importa cámaras de simulación de condiciones ambientales. Son cámaras aisladas del medio externo en las que se pueden simular condiciones ambientales, ya sean de temperatura o humedad relativa, que permita estudiar el comportamiento de algún equipo diseñado para medir temperatura y humedad relativa cuando esté expuesto a las condiciones generadas. [1]

Las cámaras de ensayos también conocidas como cámaras climatizadas o de estabilidad de Temperatura/Humedad tienen cabida en numerosos sectores de investigación e industria tales como: materiales, electrónica, biología, construcción, medicina, etc. Ofrecen una precisión y fiabilidad adecuada para la aplicación deseada.

Estas cámaras son muy usadas en estudios de materiales como envejecimiento prematuro y otras pruebas de resistencia de materiales. En los laboratorios de metrología son fundamentales para estabilizar condiciones de temperatura y humedad relativa que permitan conocer la variación de lectura en estas variables de un equipo bajo prueba siendo esto el procedimiento empleado en un proceso de calibración en equipos.

La Universidad Tecnológica De Pereira cuenta con cámaras de simulación de condiciones ambientales, que permiten evaluar las condiciones de operación de equipos para aire acondicionado.

El principal objetivo de este trabajo fue diseñar y construir un prototipo de cámara de simulación de condiciones ambientales controladas para la calibración de termohigrómetros, donde se obtuvo la temperatura y la humedad relativa definida en cada uno de los rangos establecidos. [11]

Capítulo 1

1. Antecedentes

En Colombia son pocas las investigaciones en pro del desarrollo y la fabricación de cámaras de simulación de condiciones ambientales, lo cual hace costoso la calibración de equipos diseñados para el monitoreo de temperatura y humedad relativa, por lo que las crecientes exigencias del mercado y de los potenciales consumidores hacen que las empresas estén siempre buscando nuevas formas de comprobar la calidad y excelencia de sus productos. Siendo esta la razón, para que las compañías inviertan en el constante mejoramiento en sus procesos de producción con equipos que cumplan los estándares de calidad.

Este tipo de aplicaciones son muy amplias especialmente en la industria, pero en Colombia no existen las suficientes compañías proveedoras para estos equipos que permitan calibrar y certificar los instrumentos, por lo que las empresas incluso recurren a certificadores internacionales para estos fines. [11]

La “ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA” se llevó a cabo el DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA CÁMARA CLIMATIZADA DE TEMPERATURA Y HUMEDAD PARA CALIBRAR Y CERTIFICAR INSTRUMENTOS DE PRECISIÓN COMANDADA Y MONITOREADA POR PC. Por los autores Pablo Benavides y Santiago Carrasco. Este trabajo se enfocó en controlar la temperatura y humedad relativa en rangos de 10 a 40°C y 40 a 90%HR.

Para los sistemas de calefacción y refrigeración no se obtuvieron problemas durante el arranque y parada conjuntamente con los ventiladores. La refrigeración arranca en 23°C, y se apaga en 22.9°C, la calefacción arranca en 22°C y se apaga en 22.1°C. La temperatura llega a límites máximos en los primeros intervalos y sigue disminuyendo hasta estabilizarse.

Los sistemas de humidificación y deshumidificación (refrigeración) no tienen problemas en el arranque y parada. La deshumidificación (refrigeración) arranca en 71%HR y se apaga en 70%HR, la humidificación se arranca en 69%HR y se apaga en 70%. [1]

Una de las problemáticas que enfrenta la producción metrológica en Colombia es el tipo de organización por las que está conformada, además de no contar con un desarrollo en torno a los sistemas empresariales que maximicen sus capacidades y posibilidades. Es debido a esto que las pocas empresas que prestan este servicio se ven limitadas en cuanto a los diferentes productos.

Metroindustrial, es una empresa colombiana dedicada a la prestación de servicios de CALIBRACIÓN, INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL, COMERCIALIZACIÓN y FABRICACIÓN DE EQUIPOS. Entre sus productos se encuentra la Cámara Ambiental Controladora de Humedad y Temperatura CHTA con humidificación por ultrasonido que opera entre los rangos 5 a 50 °C / 20 % a 95 % HR.

Las siguientes imágenes hacen parte de la cotización hecha por esta empresa:



ITEM	CANT.	DESCRIPCION	V. UNITARIO	V. TOTAL
1	1	<p>*Cámara Ambiental Controlada de Humedad y Temperatura con Logger a través de puerto ethernet, sistema de control a través de PLC con HMI integrada.</p> <p>Material: Acrílico color cristal. Medidas Externas: 1,0 m X 0,6 m X 0,5 m.</p> <p>Rango de operación Humedad Relativa 20 % HR a 95 % HR \pm 2% HR ; Temperatura: Ambiente +2 °C a 50 °C \pm 0,5 °C Temperatura inferiores a la ambiente: Ver notas aclaratorias Resolución 0,1 °C / 0,1 %</p> <p>Accesos: Puerta frontal y lateral</p> <p>Incluye: Humidificador por ultrasonido, sistema de des- humidificación.</p> 	26.560.000	26.560.000
2	1	<p>Cámara Ambiental Controlada de Humedad y Temperatura con Logger a través de puerto ethernet, sistema de control a través de PLC con HMI integrada.</p> <p>Material: Acrílico color cristal. Medidas Externas: 1,0 X 0,6 X 0,5 m.</p> <p>Rango de operación Humedad Relativa 20 % HR a 95 % HR \pm 2% HR ; Temperatura: 10 °C a Max 50 °C \pm 0,5 °C Resolución 0,1 °C / 0,1 %</p> <p>Accesos: Puerta frontal y lateral</p> <p>Incluye: Humidificador por Ultrasonido, Sistema de Deshumidificación,</p> <p>Mini cámara Auxiliar – Externa-: Usada para temperaturas por debajo de la temperatura ambiente.</p> <p>Medidas: 30 cm X 25 cm X 25 cm Temperatura de operación: 10 °C por debajo de la temperatura ambiente a 50 °C.</p> 	29.800.000	\$ 29.800.000

Tabla 1. Comparativo entre diferentes cámaras a nivel nacional. [2]

Estos son algunos de los trabajos en cámaras de simulación de condiciones ambientales que se realizaron a nivel nacional evidenciando la carencia de investigación en cámaras para la metrología y calibración de termohigrómetros, es importante entonces, tanto con fines investigativos como didácticos que se estudien y se construyan estas cámaras en Colombia

para incrementar la independencia tecnológica en términos de metrología y a un más que la Universidad Tecnológica de Pereira sea la pionera en dicha investigación. [2]

En países como España se ha realizado una tarea rigurosa en el desarrollo de cámaras de simulación ambiental, lo cual ha impulsado a empresas a la fabricación de cámaras de simulación de condiciones ambientales para el control de variables como temperatura, la humedad relativa presión etc. Un ejemplo es **CCI** (Cámaras Climáticas) la cual es la primera empresa española del sector, pionera en su actividad y de reconocido prestigio internacional y se encuentra certificada y acreditada por la Asociación Española de Normalización (AENOR). [3]

En la universidad Valladolid España, se llevó a cabo el diseño y construcción de una cámara de simulación de condiciones ambientales para crear condiciones adversas para determinar la alteración en la superficie ocular de las personas, proyecto denominado “alteración de la superficie ocular tras la exposición a un ambiente adverso creado en una cámara de ambiente controlado (CAC)” realizado por María Jesús Gonzáles García. Este proyecto se basó en la construcción de una cámara donde se pueda controlar la temperatura y la humedad relativa para el estudio de cómo pueden influir estas variables en la superficie ocular de las personas. [4]

La forma más idónea de provocar el crecimiento de plantas, así como de germinar o cultivar de forma acelerada es someter a los productos a un nivel alto de luminosidad, temperatura, y humedad relativa.

Este proyecto fue realizado por Brian C. Cliff Ord “La construcción y la Operación de una Cámara de Simulación de Rocío” una cámara de punto de rocío variable que simula la caída de rocío sobre partes de planta dentro de una gama de temperaturas de 1-35°C son descritas, con datos técnicos sobre la construcción y el funcionamiento. Aunque diseñado para obtener las infecciones uniformes de hojas de cereal después de su inoculación con rusturedosporas en una torre de colocar, los más amplios empleos posibles del aparato en la investigación biológica son hablados. [5]

1.1. Descripción del Proyecto

1.1.1. Planteamiento Del Problema De Investigación

Uno de los inconvenientes a la hora de hacer la calibración y/o pruebas de equipos de medición de variables ambientales es garantizar la repetibilidad de los datos tomados, ya que las condiciones pueden ser variables, esto implica que el laboratorio que desee prestar el servicio de calibración de equipos de medida de variables ambientales, tales como termohigrómetros deban estar dotados de los equipos necesarios que permitan mantener las condiciones de las variables a medir lo más estables posible, esto se logra con el uso de las cámaras de simulación de condiciones ambientales, las cuales permiten controlar a voluntad dichas variables y mantenerlas estables el tiempo deseado, dejando así un espacio para realizar varias tomas de datos en el mismo punto garantizando la repetibilidad del mismo.

Para esto la norma NTC-ISO/IEC 17025 en su capítulo 5 (Requisitos técnicos), subcapítulo 5.5 (Equipos) y numerales del 5.5.1 al 5.5.12; establece los requerimientos de uso, transporte y almacenamiento de los equipos y especialmente en los numerales 5.5.1 y 5.5.2, los cuales dicen que todo laboratorio que presten el servicio de calibración en cualquier variable deberá estar dotado de los equipos necesarios para la toma de datos, ensayos y calibraciones; de manera que puedan garantizar la trazabilidad de dichas acciones en la variable especificada, basado en lo anterior es factible hacer la siguiente pregunta de investigación. [11]

¿Cómo rediseñar y construir un prototipo de cámara de simulación de condiciones ambientales existente, que se ajuste a las normas nacionales e internacionales, con el fin de estudiar la viabilidad para emplearla como ambiente para la calibración de termohigrómetros?

1.1.2. Importancia y Justificación

Importancia

Cada vez se hace más necesario el control de la temperatura y la humedad relativa, ya sea en los ambientes de la industria para garantizar las buenas prácticas de manufactura, en las bodegas de almacenamiento para evitar deterioro en la mercancía, en los hogares o sitios de oficinas para el confort de quienes los ocupan y de manera muy especial en los sitios en los que se construye ciencia, como laboratorios, ya sean de ensayo, observación o cualquier índole, dado que esto les permite garantizar que sus procesos hayan sido realizados bajo las condiciones más adecuadas, disminuyendo así al máximo cualquier perturbación de los datos obtenidos a causa de las condiciones ambientales.

Justificación

En la Universidad Tecnológica de Pereira en laboratorio de Metrología variables eléctricas, se tiene un patrón para la calibración de termohigrómetros, pero no se cuenta con una cámara de simulación de condiciones ambientales que permita garantizar la repetibilidad de los datos tomados, teniendo en cuenta que estas cámaras son de alto costo, puesto que permiten simular ambientes, no sólo en temperatura y humedad relativa sino también en inmersión de algunos gases y sensibles a ciertas longitudes de onda, razón por la cual se desea incursionar en la construcción de un prototipo de dicha cámara que sólo controle la temperatura y la humedad relativa para el único fin de hacer calibraciones de Termohigrómetros, con el propósito de abrir las puertas a investigadores y grupos de investigación para llegar posteriormente a una cámara que se pueda comercializar a un bajo costo, respecto de las cámaras que se ofrecen en el mercado, cumpliendo los requisitos de las normas técnicas nacionales e internacionales.[11]

1.1.3. Objetivos

1.1.3.1. Objetivo General

Desarrollar un prototipo de modulo que permita controlar la Humedad Relativa basado en un humidificador de ultrasonido y deshumidificador de celdas Peltier que pueda ser usado como control de ambiente en una cámara para la calibración de termohigrómetros existente en el grupo de investigación de Metrología Bio-Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira.

1.1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir un prototipo de modulo basado en un humidificador de ultrasonido y deshumidificador de celdas Peltier que permita variar la Humedad Relativa desde el 25 % hasta el 90 %.
- Acoplar el prototipo de modulo basado en un humidificador de ultrasonido y deshumidificador de celdas Peltier a un prototipo de cámara existente en el Grupo de Investigación de Metrología Bio-Eléctrica de la Universidad Tecnológica de Pereira usada como ambiente controlado para la calibración de termohigrómetros.
- Evaluar el módulo de control de Humedad Relativa acoplado a la cámara usada como control de ambiente para la calibración de termohigrómetros por medio de pruebas operacionales utilizando como referencia un termohigrómetro debidamente calibrado.
- Determinar la validez del prototipo diseñado basado en la normatividad nacional e internacional para ser usado como ambiente controlado en la calibración de termohigrómetros.

1.1.4. Alcances y Limitaciones

Alcances

Este proyecto tiene como alcance, construir un prototipo de cámara de simulación de ambiente controlado.

Siendo este el primer prototipo desarrollado en la universidad tecnológica de Pereira, operable entre los 5 °C y 45 °C y humedad relativa entre el 25% y el 90% con el fin de garantizar condiciones requeridas y controlables en la calibración de Termohigrómetros con

base en la normatividad nacional e internacional existente, partiendo de los conocimientos y herramientas que se obtuvieron en el proceso de formación como ingenieros físicos. [11]

Limitaciones

Una de las grandes limitaciones para el desarrollo de este proyecto fue la disponibilidad de los materiales necesarios ya que los proveedores no poseían conocimientos ni experiencia con este tipo de proyectos causando dificultades en la elección de los materiales que fueran más adecuados para la función específica que se deseaba y no usar elementos genéricos.

Otro inconveniente fue la calidad de los materiales que se deseaba, ya que en ocasiones no estaba disponibles o las referencias no se encontraban en la ciudad lo que hacía necesario tener que esperar varios días para que fueran traídos de dichas ciudades y en casos más extremos la necesidad de mandar a construir las piezas que no se conseguían en el mercado.

En la parte teórica se tuvieron serias dificultades ya que se encuentra muy poca información en los medios acerca del tema, dado que las investigaciones específicas en temperatura y humedad relativa son muy pocas tanto a nivel nacional como internacional y las empresas que lo hacen de forma comercial tienen la información restringida al público. [11]

Capítulo 2

2.1. Marco Teórico

2.1.1. Metrología

La metrología se define como la ciencia de las mediciones, los métodos y los medios de medición (instrumentos), que garantizan la uniformidad y exactitud requeridas de las mediciones. Su objetivo fundamental es la obtención y expresión del valor de las magnitudes empleadas para medir según los instrumentos, métodos y medios apropiados, con la exactitud requerida en cada caso [6].

2.1.2. Resultado de Medida

conjunto de valores de una magnitud atribuidos a un mensurado, acompañados de cualquier otra información relevante disponible [7].

2.1.3. Incertidumbre de Medida

Conjunto de resultados de cualquier medición que debe poder relacionarse funcionalmente con los resultados de otras medidas [7].

2.1.4. Patrón

Medida materializada, instrumento de medida, material de referencia o sistema de medida destinado a definir, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirvan de referencia [7].

2.1.5. Resolución

Mínima variación de la magnitud medida que da lugar a una variación perceptible de la indicación correspondiente [7].

2.1.6. Trazabilidad

Propiedad de un resultado de medida por la cual el resultado puede relacionarse con una referencia mediante una cadena interrumpida y documentada de calibraciones, cada una de las cuales contribuye a la incertidumbre de medida [6].

2.1.7. Metrología Industrial

La metrología es la ciencia e ingeniería de la medida, que tiene por objeto mejorar las técnicas de medida y los patrones, para conseguir precisión y universalidad de estos aspectos. La obtención y expresión del valor de las magnitudes, es fundamental para garantizar la trazabilidad de los procesos y la consecución de la exactitud requerida en cada caso, con el menor valor de incertidumbre posible.

Este campo tiene como objetivo garantizar la confiabilidad de las mediciones que se realizan día a día en la industria, se aplican en:

- La calibración de los equipos de medición y prueba.
- La etapa de diseño de un producto o servicio.
- La inspección de materias primas, proceso y producto terminado.
- Durante el servicio técnico al producto.
- Durante las acciones de mantenimiento.
- Durante la prestación de un servicio [8].

2.1.8. Metrología Legal

Se define como un conjunto de procedimientos administrativos, técnicos y legales constituidos por la autoridad conveniente, que comprende las actividades de control oficial a cargo del estado con el objetivo de detallar y certificar de forma reglamentaria la calidad y credibilidad de las mediciones utilizadas en controles nacionales, y así proteger al consumidor. El alcance de la metrología legal depende de las reglamentaciones nacionales y esto puede variar de un país a otro. [8]

Su objetivo es proteger a los consumidores para que reciban los bienes y servicios con las características que ofrecen o anuncian los diferentes fabricantes. Debe ser ejercida por los gobiernos y entre sus campos de acción están:

- Verificación de pesas, balanzas y básculas.
- Verificación de cintas métricas.
- Verificación de surtidores de combustible.

- Verificación de productos pre-empacados.
- Control de escapes de gas de automóviles.
- Taxímetros.
- Cilindros de gas. Contadores Eléctricos, de agua y de gas, etc. [11].

2.1.9. Metrología Científica

También conocida como “metrología general”, es la parte de la Metrología que se ocupa de los problemas comunes a todas las cuestiones metrológicas, independientemente de la magnitud de la medida. Se encarga de la investigación de unidades de medición, además de la custodia, mantenimiento y trazabilidad de los patrones, instrumentos, métodos y procedimientos; mediante un conjunto de acciones que apremian el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades base y derivadas del sistema internacional de unidades, **SI**. se ocupa de los problemas teóricos y prácticos relacionados con las unidades de medida, como la estructura de un sistema de unidades o la conversión de las unidades de medida en formulas.

En este campo se investiga intensamente para mejorar los patrones, las técnicas y métodos de medición, los instrumentos y la exactitud de las medidas, se ocupa entre otras, de actividades como:

- Mantenimiento de patrones internacionales.
- Búsqueda de nuevos patrones que representen o materializan de mejor manera las unidades de medición. [8].

2.1.10. Calibración

Se puede decir que básicamente es una operación bajo condiciones específicas que establece, en una primera etapa, una relación entre los valores y sus incertidumbres de medida asociadas y obtenidas a partir de los patrones de medida, y las correspondientes indicaciones con sus incertidumbres asociadas, y en una segunda etapa, utiliza esta información para establecer una relación que permita obtener un resultado de medida a partir de una indicación [6].

2.1.11. Temperatura

Es una magnitud escalar relacionada con la energía interna de un sistema termodinámico, definida por el principio cero de la termodinámica. Más específicamente, está relacionada directamente con la parte de la energía interna conocida como (energía cinética), que es la energía asociada a los movimientos de las partículas del sistema, sea en un sentido traslacional, rotacional, o en forma de vibraciones. A medida que sea mayor la energía cinética de un sistema, se observa que éste se encuentra más (caliente); es decir, que su temperatura es mayor [9].

2.1.12. Escalas Termométricas

Se han definido dos escalas de temperatura, una en el Sistema Internacional, cuya unidad es el grado Centígrado [°C] y la otra en el Sistema Inglés, en el cual la unidad es el grado Fahrenheit [°F]. Ambas se basan en la selección de dos temperaturas de referencia, llamados puntos fijos: el punto de fusión del hielo (mezcla de agua saturada de aire y hielo) y el punto de ebullición del agua, ambos a la presión de una atmósfera.

Existe una tercera escala cuyo punto cero coincide con el cero absoluto y tiene sus equivalencias en la escala Centígrada y Fahrenheit. Estas escalas se denominan absolutas. La escala centígrada absoluta se denomina también Kelvin y la escala Fahrenheit absoluta se denomina Rankin. Los puntos fijos de temperatura de las escalas se encuentran en la tabla a continuación [1].

Escala	Cero Absoluto	Fusión del hielo	Evaporación
Kelvin	0 k	273.2 k	373.2 K
Rankin	0°R	491.7°R	671.7 °R
Reamur	-218.5 °Re	0°Re	80.0°R
Centígrada	-273.2 °C	0°C	100.0°C
Fahrenheit	-459.7°F	32°F	212.0 °F

Tabla 2. Comparativo entre las diferentes escalas de temperatura. [11]

2.1.13. Humedad Relativa

Se define como la cantidad de humedad presente en el aire, entendida como el porcentaje de humedad que contiene el aire en comparación con la capacidad del aire para retener la humedad. Cuando se afirma que la humedad Relativa de un cierto ambiente es del 50%, lo que estamos diciendo es que cada metro cúbico de aire está conteniendo la mitad (50%) de la humedad que podría ser capaz de retener.

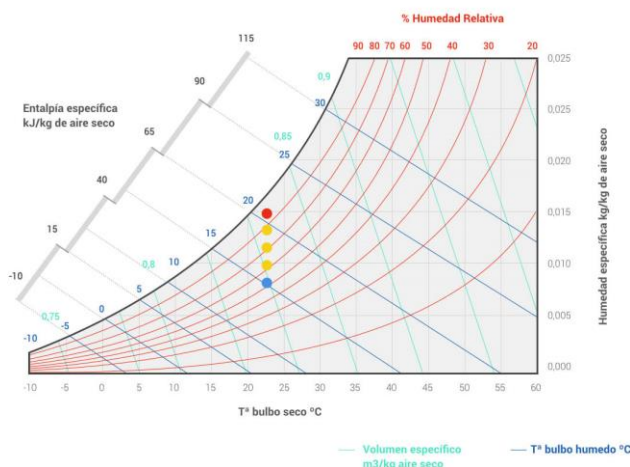
La humedad presente en el aire tiene una influencia importante en nuestra vida cotidiana de ahí que sea un concepto muy tenido en cuenta pues afecta a nuestra salud, nuestro confort y también a multitud de objetos, materias, agricultura y procesos de producción.

El aire de la atmósfera se considera normalmente como una mezcla de dos componentes: aire seco y agua. El agua es la única sustancia de la atmósfera que puede condensar (pasar de vapor a líquido) o evaporarse (pasar de líquido a vapor) en las condiciones ambientales que conocemos en la Tierra. Este hecho justifica la división del aire atmosférico en aire seco y agua, y además provocan una gran cantidad de fenómenos meteorológicos como la lluvia, el rocío, las nubes, etc. Así se conoce como humedad relativa a la cantidad de vapor de agua

que se encuentra suspendido en el aire tomando como máximo el punto en el que el vapor se condensa y la relación se da en porcentaje como se muestra en la siguiente ecuación.

$$H = \frac{\text{densidad vapor actual}}{\text{densidad vapor saturacion}} * 100\% \quad [10]$$

Se adjunta un gráfico llamado diagrama psicrométrico que representa de forma completa el comportamiento de la humedad en el aire [10].



Gráfica 1: Comportamiento de la humedad relativa en función de la temperatura.
<https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>

2.1.14. Termómetros

Un termómetro es un instrumento que mide la temperatura de un sistema en forma cuantitativa. Una forma fácil de hacerlo es encontrando una sustancia que tenga una propiedad que cambie de manera regular con la temperatura como el mercurio (Hg) dentro de un termómetro de vidrio: al calentarse, se expande y viceversa, al enfriarse se contrae, lo que se visualiza contra una escala graduada. La variación de temperatura afecta al volumen del líquido, de manera que el mismo se desplaza por el depósito, que está graduado. Si aumenta la temperatura, el líquido se dilata; y si la temperatura disminuye, el líquido se contrae. La graduación del depósito que contiene el mercurio o el alcohol nos permite saber, en todo momento, la temperatura del medio en que está situado el termómetro, el cual debe estar protegido de la acción directa de los rayos del sol.

La temperatura puede medirse en diferentes escalas: la escala Celsius (grados centígrados), pero en otros países también se utiliza la Fahrenheit. La invención del termómetro se atribuye a Galileo, aunque el termómetro sellado no apareció hasta 1650. Los modernos termómetros de alcohol y mercurio fueron inventados por físico alemán Daniel Gabriel Fahrenheit, quien también propuso la primera escala de temperaturas ampliamente adoptada, que lleva su nombre. En la escala Fahrenheit, el punto de congelación del agua corresponde a 32°F y su

punto de ebullición a presión normal es de 212°F. Desde entonces se han propuesto diferentes escalas de temperatura; en la escala Celsius, diseñada por el astrónomo sueco Anders Celsius y utilizada en la mayoría de los países, el punto de congelación del agua es 0 grados y el punto de ebullición es de 100°. [11]

Los Tipos de termómetros, los hay muy variados: de mercurio, alcohol, de gases para medir temperaturas muy bajas, los eléctricos, los bimetálicos para temperaturas altas, o los de radiación para medir temperaturas altísimas.

2.1.15. Termómetros de Vidrio o Termómetro Químico

Los termómetros de vidrio o también denominados termómetros de líquido son los más conocidos. Hasta la fecha reciente se utilizaban los de mercurio, pero debido a la prohibición de esta sustancia por su alta peligrosidad, han sido substituidos por el alcohol coloreado. Estos termómetros suelen ser de vidrio sellado. La temperatura se obtiene de ver en una escala marcada en el mismo termómetro hasta que nivel llega el líquido (mercurio o alcohol) que hay en su interior a causa de la dilatación/contracción del mismo debido al cambio de temperatura. La escala para la medición de temperatura más usada suele ser los Celsius (grados centígrados °C), cuyo nombre viene de su descubridor Anders Celsius (S.XVIII). También se puede visualizar en grados Fahrenheit, inventor del termómetro de mercurio en 1714 y que viene dada por el símbolo °F. [12]



Figura 1. Termómetro de Vidrio o Termómetro Líquido

<https://nikolasbuitragoj.wordpress.com/segundo-corte/consultas/temperatura/como-medir-la-temperatura/tipos-y-usos-de-los-termometros/>

2.1.16. Termómetros Bimetálicos

Es un instrumento utilizado para la medición de temperatura, por medio de la contracción y expansión de dos diferentes aleaciones metálicas de alto y bajo coeficiente de dilatación que al ser expuestos a una misma temperatura, transmite un movimiento giratorio a la aguja indicadora de la escala graduada. (Figura 1) Los termómetros bimetálicos utilizan las diferencias de coeficiente de expansión térmica de metales disímiles para proveer una medición del cambio de temperatura y convertir este cambio en un movimiento mecánico, indicándolo sobre una escala graduada (carátula).

Los termómetros bimetálicos comerciales usualmente utilizan una configuración helicoidal o espiral en el elemento sensor o bimetel. [11]

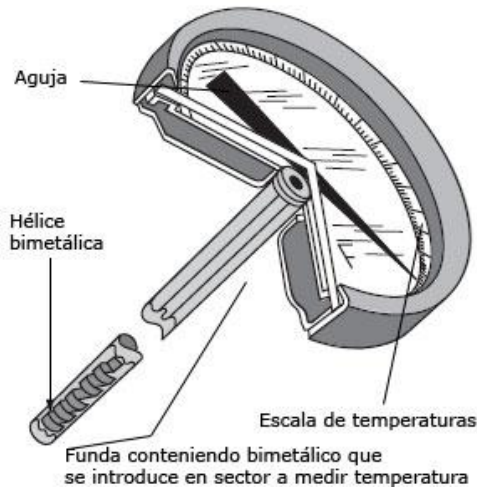


Figura 2. Termómetros a par bimetálico
<http://pasionporlaingenieriaa.blogspot.com/>

2.1.17. Termómetros de Gas

El termómetro de gas de volumen constante es muy exacto, y tiene una margen de aplicación extraordinario: desde -27°C hasta 1477°C . Pero es más complicado, por lo que se utiliza más bien como un instrumento normativo para la graduación de otros termómetros. El termómetro de gas a volumen constante se compone de una ampolla con gas-helio, hidrógeno o nitrógeno, según la gama de temperaturas deseada y un manómetro medidor de presión. Se pone la ampolla del gas en el ambiente cuya temperatura hay que medir, y se ajusta entonces la columna de mercurio (manómetro) que está en conexión con la ampolla, para darle un volumen fijo al gas de la ampolla. La altura de columna de mercurio indica la presión del gas. A partir de ella se puede calcular la temperatura. [13]

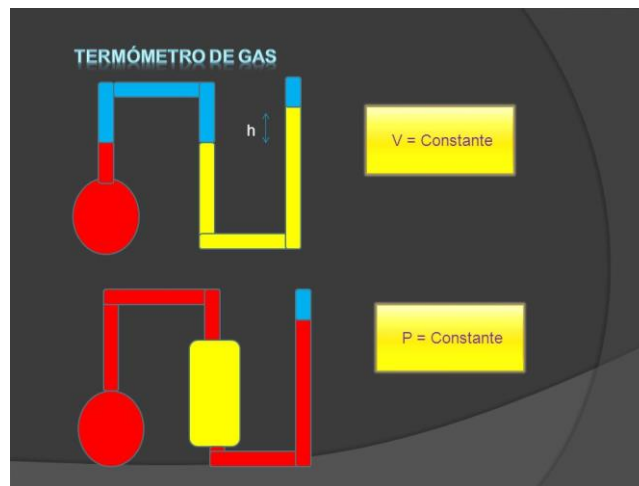


Figura 3. Termómetro de Gas
<https://davidrodriguez2206.wordpress.com/tipos-de-termometros/>.

2.1.18. Higrómetros

Un higrómetro es un instrumento utilizado para medir la humedad relativa del aire, o la cantidad de vapor de agua invisible en un entorno determinado. Los higrómetros más antiguos se hallaban contruidos con sensores de tipo mecánico que se sustentaban en las respuestas de algunos elementos sensibles a las variaciones de la humedad atmosférica, tales como el cabello humano.

Existen en la actualidad, diversos tipos de higrómetros según el tipo de medición que realicen. El higrómetro de tipo psicrómetro especifica la humedad atmosférica mediante la diferenciación de su temperatura con la humedad y su temperatura ordinaria. [14]

2.1.19. Higrómetro de Condensación

Es utilizado para definir la humedad atmosférica al alcanzar a establecer la temperatura de empañamiento de una superficie pulida mientras va enfriándose de manera artificial y en forma demorada esa misma superficie. El higrómetro utiliza una cuerda de cabellos que se enrosca con mayor o menor fuerza según el ambiente. El haz de cabellos desliza por una aguja indicadora que determina la proporción del grado de humedad, aunque no define el porcentaje. [14]

2.1.20. Higrómetro de Absorción

Se utilizan sustancias químicas higroscópicas que en este caso son las que absorben y exhalan la humedad, según las condiciones climáticas reinantes. [14]

2.1.21. Higrómetro Eléctrico

El higrómetro eléctrico se halla conformado por dos electrodos enrollados en espiral, entre ellos se ubica un tejido impregnado en cloruro de litio acuoso. Si se aplica estos electrodos una tensión alterna, el tejido se calienta y se evapora una parte del contenido de agua. A una temperatura determinada, se consigue un equilibrio entre la evaporación por calentamiento del tejido y la absorción de agua de la humedad del ambiente por el cloruro de litio, que es un material específicamente higroscópico. Así entonces, analizando estos datos puede definirse con precisión el grado de humedad. [14]

2.1.22. Higrómetro Digital

Actualmente, lo último en tecnología es el higrómetro digital que presenta características propias de avanzada: la posibilidad de medir la temperatura en décimas de grado y con la particularidad de guardar en memoria la máxima y la mínima. Un rango de medidas de -10°C y 50°C . Tiene también un registro de humedad con memorias mínimas y máximas en rangos de medida de 10% a 99%, con un margen de precisión del 25 al 75% y puede usarse tanto para colgar en una pared como apoyado sobre un plano. [14]

Finalmente, no olvidemos que siendo el higrómetro un instrumento de medición también puede tener más aplicaciones que los usos meteorológicos. Así en laboratorios agropecuarios, en específicas pruebas de ensayo son utilizados algunos higrómetros que permiten verificar no sólo la humedad necesaria para determinados cultivos sino también la requerida para la óptima aptitud de los suelos en uso. También en medicina, es indispensable el uso de higrómetros en aplicaciones biomédicas o bien, como sensores de humedad en los laboratorios e incluso en la aplicación de humidificadores ambientales para los casos de congestiones bronquiales y asma. Es también usado el higrómetro en las fisioterapias de rehabilitación para determinar el grado requerido de aplicación de calor y humedad según sea el caso prescripto. [11]

2.1.23. Principio de Funcionamiento Electrónicos

El sistema de medición está compuesto de un medidor conectado a una sonda. Esta sonda está basada en la capacitancia de un sensor de humedad con un polímero o material dieléctrico plástico con una constante dieléctrica fija entre 2 y 15. La humedad hace que el dieléctrico se dilate, distanciando así las placas con la consecuente variación de la geometría del capacitador y la reducción de su capacitancia. Estas variaciones de capacitancia a su vez causan un cambio de frecuencia en los componentes electrónicos del instrumento, que resulta en una modulación de frecuencia la cual es una función de la humedad relativa. La frecuencia se convierte entonces en voltaje, que se convierte en un valor de humedad relativa y se visualiza en pantalla. [11]

2.1.24. Termohigrómetros

Es un tipo de estación meteorológica que se caracteriza por disponer únicamente de termómetro e higrómetro, careciendo de barómetro, por lo que puede medir únicamente la temperatura y la humedad, son de vital importancia en cualquier recinto en el que se deban controlar dichas variables ambientales. [11]

Los Termómetros son de dos tipos, análogos o digitales:

2.1.25. Termohigrómetros Análogos

Son equipos eléctricos cuya medida la emiten mediante la deflexión de una aguja, el funcionamiento está bien dado por un par de electrodos recubiertos por un material impregnado en una sustancia higroscópica, que al calentarse entra en equilibrio térmico con el vapor de agua suspendido en el aire, además posee un termómetro para indicar la medida de la temperatura, esto es lo que permite saber con precisión la saturación de humedad del aire y su temperatura. [11]

A continuación, se da un ejemplo de termohigrómetro análogo; es de anotar que los distintos fabricantes pueden dar las características de forma propia y los rangos de operación están determinados según la necesidad de uso por el dueño del proceso que se esté controlando. Las características más comunes que describen este tipo de equipos son:

Características:

Rango Temperatura: -30+50 °C: 1°C

Humedad Relativa: 20~100

Caja ABS

Diámetro de la carátula 75mm

Recalibrable

Escala visible, fondo blanco, números y letras en colores

Indicación directa de Temperatura y Humedad Relativa

Empaque individual en blíster

Marca BRIXCO

Ref. Rango Unidades/Cartón

1550 -30+50°C, 20~100% HR 10 Unidades



Figura 4: Termohigrómetros análogo-tipo Residencial
<http://disglobal.co/index.php/termohigrometros/analogs>.

2.1.26. Termohigrómetros Digitales

Son equipos dotados de implementos electrónicos que ofrecen la información al usuario de forma numérica por medio de display, el funcionamiento de estos está dado por una unidad central de proceso que es la encargada mediante software del análisis entregado por la sonda de medida, dicha sonda puede ser capacitiva o resistiva, sensible a la humedad y la temperatura.

Este tipo de equipo permite hacer un monitoreo permanente de las condiciones ambientales de un lugar, para según las necesidades se hagan las modificaciones de estas con equipos especiales para tal fin.

Son de vital importancia en los laboratorios de cualquier índole, ya sea para el confort de las personas que los ocupan o para garantizar las condiciones más adecuadas para la toma de datos y/o realización de procedimientos científicos. [11]

A continuación, se da un ejemplo de termohigrómetro digital que se puede encontrar en el mercado, estos termohigrómetros tienen sus especificaciones según el fabricante y la necesidad de quien lo solicita. [11]

Características

Sonda de detención desmontable

Lectura de bulbo húmedo

Retención de datos y función relativa

Pantalla de LCD dual con indicación gráfica de barras (bargraph)

Capacidad de lectura dual de Datalogging 10% RH y 100 °C

Lectura de punto de rocío
Interfaz de RS-232 y software para Windows
Grabación de temporizador automática para datalogger
Máximo / mínimo con sello de tiempo



Figura 5. Termohigrómetros Digital – TPM-TE-1365
http://tpmequipos.com/294948_Termohigrometros.html.

2.1.27. Efecto Peltier

El efecto Peltier consiste en lo siguiente: Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso al Seebeck. En este caso, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. La parte que se enfría suele estar cerca de los 25°C, mientras que la parte que absorbe calor puede alcanzar rápidamente los 80°C.

Lo que lo hace aún más interesantes es el hecho de que, al invertir la polaridad de alimentación, se invierte también su funcionamiento; es decir: la superficie que antes generaba frío empieza a generar calor, y la que generaba calor empieza a generar frío.

Como todo en esta vida, las unidades Peltier también tienen algunos inconvenientes que hay que tener en cuenta. Como pueden ser el alto consumo eléctrico, o que dependiendo de la temperatura y la humedad puede producirse condensación y en determinadas condiciones incluso puede formarse hielo. [15]

2.1.28. Descubrimiento del Efecto Peltier

En 1834 cuando el físico francés Jean Charles Peltier descubrió este efecto termoeléctrico, en el curso de sus investigaciones sobre la electricidad. Este interesante fenómeno se mantuvo reducido a algunas pequeñas aplicaciones hasta ahora época en que se comienza a utilizar sus posibilidades con más frecuencia. [15]

2.1.29. Aprovechamiento de este fenómeno

La utilización común en los últimos años fue los termocoples. Recordemos que al calentarse producen una tensión que va en aumento al aumentar la temperatura. La pequeña tensión generada es amplificada y permite desviar una aguja en un micro amperímetro que indica temperatura versus la tensión recibida. El segundo fenómeno utilizable es el que ocurre cuando aplicamos una tensión en los extremos de los alambres soldados.

De igual manera este fenómeno se aprovecha con más auge a través de las llamadas células Peltier: Alimentando una de estas células Peltier, se establece una diferencia de temperatura entre las dos caras de la célula Peltier, esta diferencia depende de la temperatura ambiente donde está situada la célula Peltier, y del cuerpo que queramos enfriar o calentar. Su uso mas bien es para enfriar, ya que para calentar existen las resistencias eléctricas, que son mucho más eficientes en este cometido que las células Peltier, estas son mucho más eficaces refrigerando, ya que su reducido tamaño, las hace ideales para sustituir costosos y voluminosos equipos de refrigeración asistida por gas o agua. [15]

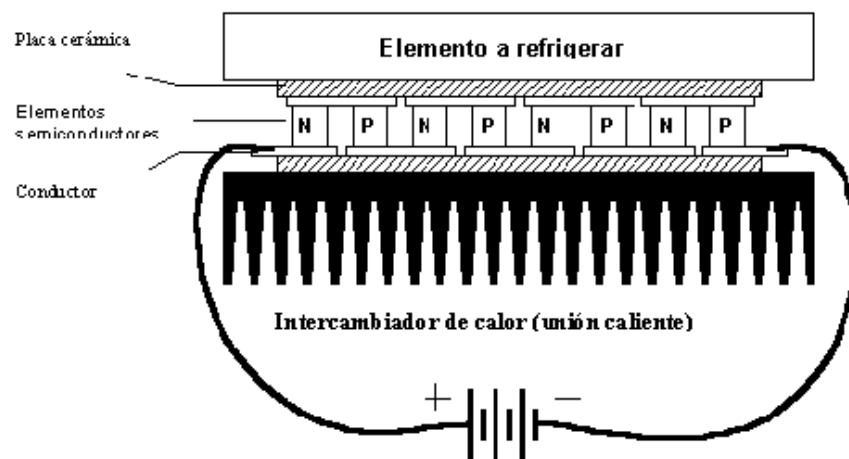


Figura 6. Celda de Peltier
<http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>

2.1.30. Células Peltier

Las aplicaciones prácticas de estas células son infinitas. la lista podría ser interminable, ya que son muchas las aplicaciones en que es necesario utilizar el frío y al mismo tiempo, el calor.

Si observamos la figura 6, podemos ver que se compone, prácticamente, de materiales semiconductores, uno con canal N y otro con canal P, unidos entre si por una lámina de cobre.

Si el lado del material N se aplica la polaridad positiva de alimentación en el lado del material P la polaridad negativa, la placa de cobre de la parte superior enfría mientras que la inferior calienta.

Si en esta misma célula, se invierte la polaridad de alimentación, es decir, se aplica en el lado del material N la polaridad negativa y en el lado del material P la positiva, se invierte la función de calor / frío: la parte superior calienta y la inferior enfría. [15]

2.1.31. Cámaras de Simulación de Condiciones Ambientales Existentes en la Industria.

Son cámaras aisladas del medio externo en las que se pueden simular condiciones ambientales, ya sean de temperatura o humedad para estudiar el comportamiento de algún material que se exponga a las condiciones generadas, son bastante usadas en estudios de materiales como envejecimiento prematuro y otras de resistencia, en los laboratorios de metrología son fundamentales para hacer ensayos y toma de datos para la calibración de equipos que se deban aislar del medio o estar bajo condiciones controladas. [11]



Figura 7. Cámara Pharma 2000.

En la figura 7, se muestra un ejemplo de cámara de simulación de condiciones ambientales que se pueden encontrar en el comercio, este tipo de cámaras es bastante variado, ya que atienden a las necesidades de cada empresa, lo que hace que adopten formas especiales y rangos de operación a la medida.

Características.

Las Cámaras WEISS de la serie PHARMA han sido especialmente desarrolladas para cumplir con los requerimientos de los laboratorios de prueba de la industria farmacéutica. Estas cámaras están disponibles en tres tamaños, PHARMA 600, PHARMA 1300 y PHARMA 2000. El interior está completamente elaborado en acero inoxidable, ofreciendo un área de almacenamiento de 2.07 m² (PHARMA600), 4.14 m² (PHARMA 1300) y 6.21 m² (PHARMA2000) con 6, 12 y 18 bandejas suministrada como elementos estándar con la cámara correspondiente. [11]

El rango de trabajo de la cámara cumple con facilidad los requerimientos del ICH, línea guía Q1A. Estas cámaras también permiten la implementación de pruebas con otras especificaciones en el rango de desempeño del respectivo sistema. El control de temperatura y de humedad se realiza con sensores de alta precisión en combinación con una unidad de control especialmente diseñada.

El sistema de control responde con rapidez para corregir variaciones del set point causadas por:

La influencia del contenido de la cámara (absorción ó emisión de vapores de agua de los especímenes de prueba o de sus materiales). Influencias externas (temperatura del laboratorio, abertura de la puerta) [11].

2.1.32. Métodos de Calibración

Los métodos de calibración se pueden clasificar en tres: métodos normalizados, métodos desarrollados por el laboratorio, métodos no normalizados. [11]

2.1.33. Métodos Normalizados

Los métodos de medición, prueba o calibración normalizados, normalmente los podremos encontrar documentados en: normas internacionales, regionales o nacionales; organizaciones técnicas reconocidas revistas, textos o guías científicas relevantes y de acuerdo con las instrucciones del fabricante. [15]

2.1.34. Métodos Desarrollados por el Laboratorio

Son los métodos desarrollados internamente por el laboratorio, cuando no se cuenta con los métodos normalizados que cubran los servicios de medición, prueba o calibración requeridos. [15]

2.1.35. Métodos No Normalizados

Son aquellos que no están cubiertos por la norma, son métodos que generalmente se acuerdan con el usuario. [11]

2.1.36. Técnicas de Calibración

Las técnicas de calibración son variadas y se deben usar según el equipo que se desea calibrar y el equipo patrón del cual se disponga para tal fin. [11]

2.1.37. Comparación Directa

En este método se comparan directa e instantáneamente los valores proporcionados por el equipo (instrumento de medición o medida materializada) bajo calibración, contra los valores proporcionados por un patrón. [16]

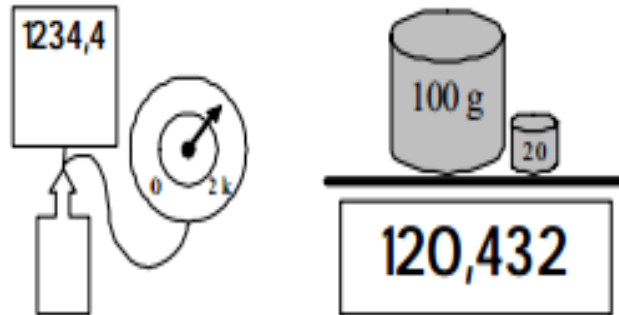


Figura 8. Calibración de un manómetro analógico y de una balanza de masa por comparación directa. [11]

Ejemplos:

- a) Calibración de una balanza digital con un marco de pesas patrón (figura 8).
- b) Calibración de un manómetro ordinario secundario contra un manómetro patrón digital (figura 8). [11]

2.1.38. Calibración por Transferencia

En este método se comparan los valores proporcionados por el equipo (instrumento de medición o medida materializada) bajo calibración, contra los valores proporcionados por un patrón (valor de referencia), a través de un patrón de transferencia, incluso en diferente tiempo y lugar. [16]

Ejemplos:

- a) comparación de puntos fijos contra otros patrones primarios mediante patrones de transferencia de alta exactitud.
- b) Calibración de generadores de magnitudes eléctricas, contra referencias fijas mediante multímetros de alta exactitud.

2.1.39. Calibración por Sustitución

Este método utiliza un equipo auxiliar (comparador), con el que se mide inicialmente al patrón y luego al equipo (instrumento de medición o medida materializada) sujeto a calibración. [11]

- a) Sustitución simple (calibración de masas AB) figura 8.
- b) Sustitución doble (calibración de masa ABBA) figura 8.
- c) Sustituciones sucesivas (calibración de básculas de alto alcance superiores a 5 toneladas).

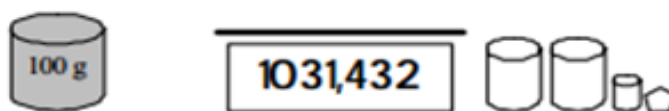


Figura 9. Calibración de una pesa por sustitución [11].

2.1.40. Calibración por Equilibrio

Este método utiliza un detector de nulos, el cual permite comprobar la igualdad entre el patrón y el equipo (instrumento de medición o medida materializada) sujeto de la calibración. [16]

Ejemplos:

- a) Calibración de pesas en comparador de dos platillos figura 9.
- b) Calibración de resistores, capacitores e inductores patrón en puentes RLC.
- c) Calibración de balanzas de precisión por el método de flotación cruzada.
- d) Calibración de manómetros de mercurio contra columna de liquido por equilibrio de fuerzas.

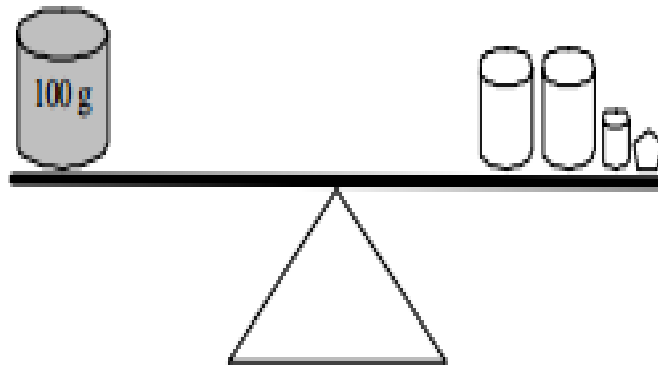


Figura 10. Calibración de una pesa por equilibrio. [11]

2.1.41. Calibración por Simulación

Este método simula el mensurado o la magnitud del instrumento de medición sujeto a la calibración en base a modelos de relación de respuesta contra estímulo. [16]

Ejemplos:

- a) Simulación eléctrica en la calibración de indicadores (no medidores) de temperatura (TC y RTD), potenciómetros para PH figura 11, lazos de medición o control (4 a 20 mA, 1 a 5 V, 0 a 10 V, etc.), vibraciones, conductividad, humedad de madera, resistividad, etc.
- b) Simulación de fuerzas en la calibración de básculas de alto alcance superiores a 5 toneladas.
- c) Simulación por presión diferencial para la calibración de transmisores de flujo o velocidad.



Figura 11. Simulador eléctrico de pH (mV). [11]

2.1.42. Calibración por Reproducción

En este caso el patrón utilizado en la calibración reproduce a la magnitud. [16]

Ejemplos:

- a) Pesas figura 12.
- b) Volumen.
- c) Resistores eléctricos.
- d) Bloques patrón.
- e) Generadores de señal.
- f) Materiales de referencia (MR).



Figura 12. Marco de pesas (reproducción). [11]

2.1.43. Calibración por Puntos Fijos

En este caso el patrón utilizado en la calibración realiza un constante fundamental o derivada mediante la reproducción de fenómenos físicos o químicos. [16]

Ejemplos:

- a) Puntos fijos de sales saturados para humedad relativa.
- b) Puntos fijos (triples, solidificación, fusión) de la ITS-90 para temperatura.
- c) Puntos fijos secundarios (fusión hielo figura 13, evaporación del agua) para temperatura.
- d) Puntos fijos de presión



Figura 13: Punto de hielo (Punto fijo). [11]

2.1.44. Normatividad

Las normas de calibración para Colombia se deben ajustar a la normatividad internacional para poder dar fe de la trazabilidad de los equipos patrón del país, por esta razón las normas de calibración están ajustadas a las normas ISO (International Organization for Standardization), creada para la cooperación internacional de gestión de la calidad.

Las normas ISO son normas voluntarias de gestión de calidad que los países y las empresas adquieren para demostrar sus capacidades técnicas, tecnológicas y de capital humano para desarrollar determinada labor, de esta familia de normas las aplicadas a la calibración y gestión de calidad de laboratorios de calibración son la 17025 que regula los aspectos técnicos, organizacionales y de procedimientos para los laboratorios de calibración. [11]

Adicional a esto cada país tiene su ente acreditador de dichas normas y su legislación acerca de la metrología; para Colombia el ente acreditador es la ONAC (Organismo Nacional de Acreditación Colombiana) ahora aceptada como miembro del Acuerdo de Reconocimiento Multilateral de la Cooperación Interamericana de Acreditación ILAC [16], la regulación de los procesos metrológicos legales para Colombia la comparten la SIC (Superintendencia de Industria y Comercio) y el recién creado INM (Instituto Nacional de metrología de Colombia) quien espera ser la máxima autoridad en términos metrológicos en Colombia sacando proyectos de ley que coloquen a Colombia en un puesto en términos de metrología competentes y a la altura de países como México, Brasil y otros. [11]

Las leyes colombianas de metrología ahora se basan en la protección al consumidor y las buenas prácticas de manufactura y los proyectos de ley que se estudian buscan acreditar como entes de alta calidad con las normas ISO a los laboratorios de calibración colombianos. [11]

2.1.45. Arduino ATmega 2560

El Arduino ATmega 2560 es una placa electrónica basada en el ATmega2560 (ficha técnica). Cuenta con 54 pines digitales de entrada / salida (de los cuales 15 se pueden utilizar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertas seriales), un oscilador de 16MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, una cabecera ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para apoyar el microcontrolador; basta con conectarlo a un ordenador con un cable USB o el poder con un adaptador de CA o la batería a CC para empezar. El ATmega es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Arduino Duemilanove o Diecimila. [11]



Figura 14. Arduino ATmega 2560. [11]

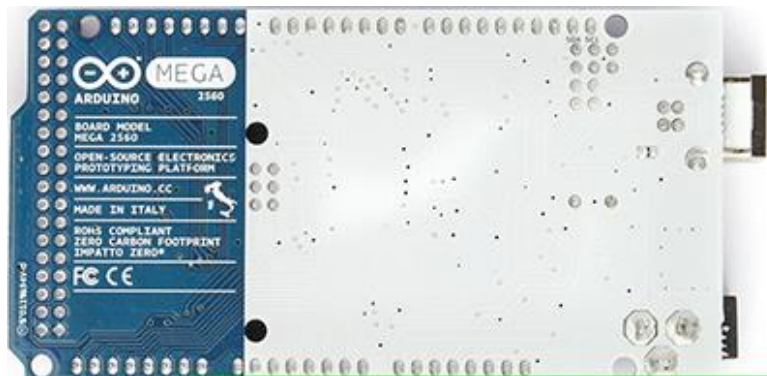


Figura 15. Arduino ATmega parte posterior. [11]

Características

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 Ma
DC Current for 3.3V Pin	50 Ma
Flash Memory	256 KB of which used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4KB
Clock Speed	16 MHz

2.1.46. Energía

El Arduino Mega puede ser alimentado a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

Potencia (no USB) externo puede venir con un adaptador de CA a CC (pared-verruga) o la batería. El adaptador se puede adaptar al conectar un enchufe de 2.1mm centro-positivo en el conector de alimentación de la placa. Los cables desde una batería se pueden insertar en los cabezales de pin GND y Vin del conector de alimentación.

El tablero puede funcionar con un suministro externo de 6 a 20 voltios. Si se suministra con menos de 7V, sin embargo, el pin de 5V puede suministrar menos de cinco voltios y la junta puede ser inestable. Si se utiliza más de 12 V, el regulador de voltaje se puede sobrecalentar y dañar la placa. El rango recomendado es de 7 a 12 voltios. [11]

2.1.47. Pines de Alimentación

- VIN: El voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se utiliza una fuente de alimentación externa (en oposición a 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Usted puede suministrar tensión a través de este pin, o, si el suministro de voltaje al conector de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- 5V: Este pin como salida una 5V regulada del regulador en el tablero. El tablero puede ser alimentado ya sea desde la toma de alimentación de CC (7 - 12 V), el conector USB (5V), o por el pin VIN del tablero (7-12V). El suministro de tensión a través de los pines de 5V o 3.3V no pasa por el regulador, y puede dañar su tablero. No aconsejamos ella.
- 3V3: Un suministro de 3,3 voltios generada por el regulador de a bordo. Sorteo de corriente máxima es de 50 mA.

- GND: Pines de tierra.
- IOREF: Este pin de la placa Arduino proporciona la referencia de tensión con la que opera el microcontrolador. Un escudo configurado puede leer el voltaje pin AREF y seleccione la fuente de alimentación adecuada o habilitar traductores de voltaje en las salidas para trabajar con el 5V o 3.3V. [11]

2.1.48. Memoria

El Atmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para el almacenamiento de código (de los cuales 8 KB se utiliza para el gestor de arranque), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM (que se puede leer y escribir con la librería EEPROM).[11]

2.1.49. Entrada y Salida

Cada uno de los 54 pines digitales en el Mega se puede utilizar como una entrada o salida, utilizando pinMode (), digitalWrite (), y las funciones digitalRead (). Funcionan a 5 voltios. Cada pin puede proporcionar o recibir un máximo de 40 mA y tiene una resistencia de pull-up (desconectado por defecto) de 20 a 50 kOhm. Además, algunos pines tienen funciones especializadas:

- Serial: 0 (RX) y 1 (TX); Serie 1: 19 (RX) y 18 (TX); Serial 2: 17 (RX) y 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) y 14 (TX). Se utiliza para recibir (RX) y transmitir datos en serie (TX) TTL. Pines 0 y 1 están también conectados a los pines correspondientes de la serie ATmega16U2 USB-to-TTL serial chip.
- Interrupciones externas: 2 (interrumpir 0), 3 (interrumpir 1), 18 (interrumpir 5), 19 (interrumpir 4), 20 (interrumpir 3), y 21 (interrumpir 2). Estos pines pueden configurarse para activar una interrupción en un valor bajo, un flanco ascendente o descendente, o un cambio en el valor. Véase la función attachInterrupt () para más detalles.
- LED: 13. Hay un LED incorporado conectado al pin digital 13. Cuando el pasador es de alto valor, el LED está encendido, cuando el pasador es bajo, es apagado.[11]

2.1.50. Comunicación

El Arduino ATmega 2560 tiene una serie de instalaciones para comunicarse con un ordenador, otro Arduino u otros microcontroladores. El Atmega2560 ofrece cuatro UART hardware para TTL (5V) de comunicación serie. Un ATmega16U2 (ATmega 8U2 sobre la revisión y revisión 1 2 tablas) en los canales de subir a uno de ellos a través de USB y proporciona un puerto COM virtual para software en el equipo (máquinas Windows necesitarán un archivo .inf, pero las máquinas OSX y Linux reconocer la junta como un

puerto COM de forma automática. el software de Arduino incluye un monitor de serie que permite a los datos textuales sencillos para ser enviados hacia y desde el tablero. los LEDs RX y TX en el tablero parpadean cuando se están transmitiendo datos a través de la ATmega8U2 / ATmega16U2 chip y conexión USB al ordenador (pero no para la comunicación en serie en los pines 0 y 1).

Una librería SoftwareSerial permite la comunicación en serie en cualquiera de los pines digitales del Mega2560. [11]

2.1.51. Programación

El Arduino Mega se puede programar con el software de Arduino.

Los Atmega2560 en la Mega Arduino viene precargado con un gestor de arranque que le permite cargar nuevo código a él sin el uso de un programador de hardware externo. Se comunica mediante el protocolo original STK500 (referencia, archivos de cabecera C).

También puede pasar por alto el gestor de arranque y programar el microcontrolador a través del ICSP (In-Circuit Serial Programming) cabecea utilizando Arduino ISP o similar; ver estas instrucciones para más detalles.

El ATmega16U2 (o 8U2 en el rev1 y tableros Rev2) código fuente del firmware está disponible en el repositorio de Arduino. El ATmega16U2 / 8U2 se carga con un cargador de arranque DFU, que puede ser activado por:

- En las placas Rev1: conectan el puente de soldadura en la parte posterior de la placa (cerca del mapa de Italia) y luego reiniciar el 8U2.
- En las placas Rev2 o posteriores: hay una resistencia que tirando de la línea 8U2 / 16U2 HWB a tierra, por lo que es más fácil poner en modo DFU. A continuación, puede utilizar el software de Atmel FLIP (Windows) o el programador DFU (Mac OS X y Linux) para cargar un nuevo firmware. O puede utilizar el encabezado de ISP con un programador externo (sobrescribir el gestor de arranque DFU). Ver este tutorial aportado por los usuarios para obtener más información.[11]

2.1.52. Protección multifunción USB

El Arduino Mega 2560 tiene un polyfuse reajutable que protege a los puertos USB de su ordenador desde pantalones cortos y sobre corriente. Aunque la mayoría de las computadoras ofrecen su propia protección interna, el fusible proporciona una capa adicional de protección. Si hay más de 500 mA se aplica al puerto USB, el fusible se rompe automáticamente la conexión hasta que el corto o se elimina la sobrecarga. [11]

Capítulo 3

3.1. Diseño de la Cámara

Etapa 1.

- Se realizó la revisión de métodos y equipos usados para la calibración de termómetros, higrómetros y termohigrómetros usados en los laboratorios de metrología.
- Se hizo la sistematización de los métodos y las normas acatadas para determinar un modelo de cámara que se ajuste de la mejor manera a la calibración de termohigrómetros. [11]

Etapa 2.

- Diseño y/o consecución del generador de calor, humedad y condiciones iniciales.

3.1.1. Módulo generador de calor

- Se realizó una búsqueda en el mercado de un sistema de calefacción que se adecuara a las necesidades del caso, pero, al no encontrar un dispositivo adecuado se procedió a diseñar una caja que se pudiera manipular a voluntad del operador.
- El diseño de la caja requirió la implementación de un sistema que se pudiera comunicar con el sistema central para manipular una resistencia cerrando el lazo con un sensor de temperatura LM 35 para manipular el encendido y apagado de la resistencia y un ventilador de alta potencia para crear un flujo de aire caliente que recorre el interior de la caja contenedora. [11]

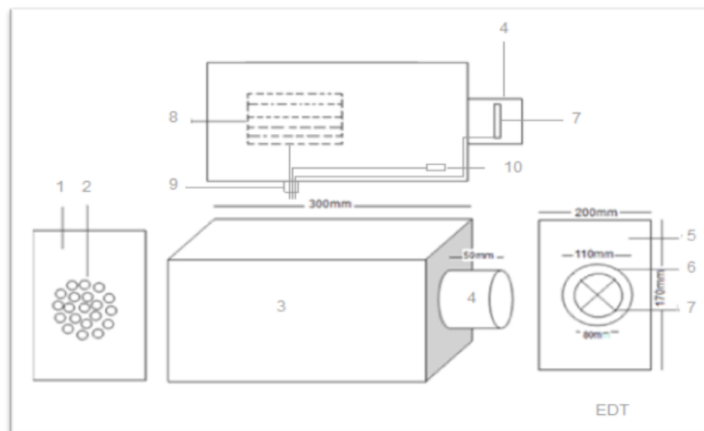


Figura 16. Caja de calefacción. [11]

1. Tapa trasera
2. Rejilla transferencia de calor
3. Caja contenedora
4. Toma de aire
5. Tapa delantera
6. Retenedor
7. Ventilador
8. Resistencia
9. Conector
10. Censor temperatura

3.1.2. Módulo Generador de Humedad

- Para el sistema de humedad se usó un humidificador comercial de ultrasonido ya que no calienta el agua, lo que es adecuado dado que no adiciona temperatura al sistema, dicho humidificador es ornamental, pero cumple con todas las condiciones requeridas para este proyecto.
- El módulo de humedad está compuesto por un recipiente cilíndrico contenedor de agua en el que se sumerge el humidificador, por un extremo se conecta la realimentación y por el otro lado un ventilador Cooler que genera un flujo de aire bajo que recorre la cámara de simulación. [11]

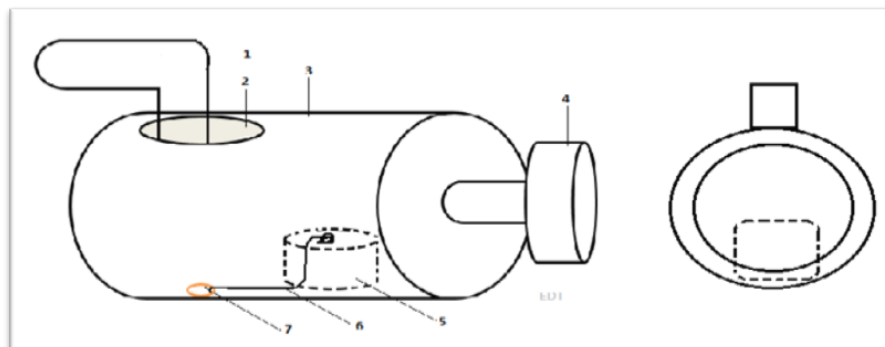


Figura 17. Unidad de Humedad [11]

1. Boquilla de realimentación.
2. Orificio de alimentación.
3. Unidad de humedad.
4. Boquilla de salida contenedora del ventilador Cooler.
5. Humidificador de ultrasonido.
6. Cable de conexión.
7. Orificio de desagüe

3.1.3. Deshumidificador del sistema

- Su funcionamiento consiste en pasar una corriente de aire por un evaporador (en este caso son las celdas Peltier), las cuales están a una temperatura por debajo del punto de rocío, provocando que la humedad ambiental se condense y gotee a un depósito o un desagüe. Después de ser secado y enfriado el aire pasa por una tubería a la cámara, con lo que recupera la temperatura ambiental y disminuye aún más la humedad relativa.

A veces se puede producir hielo en la zona fría. Esto lo contrarrestamos con un chorro de aire casi constante que le permita a las celdas de Peltier absorber ese vapor de agua y poder obtener el aire frío y seco que necesitamos ingresar a la cámara. [17]

3.1.4. Diseño del Deshumidificador

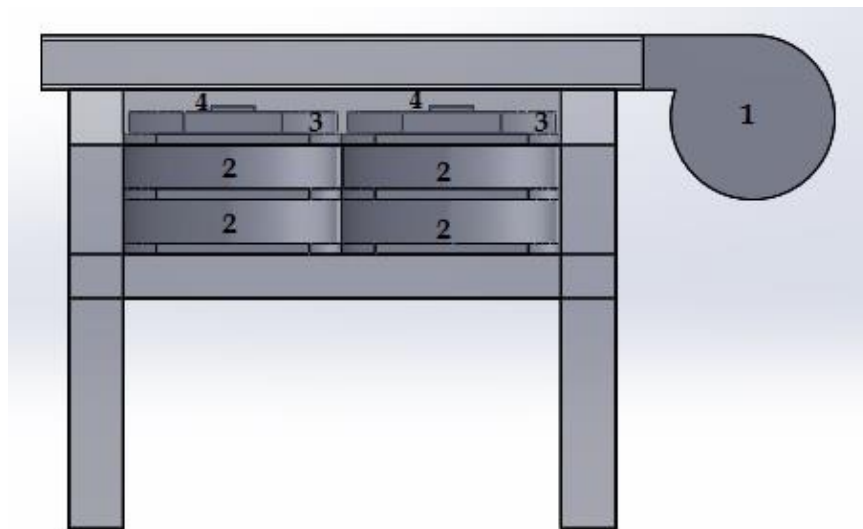


Figura.18. Sistema Deshumidificador Vista Frontal

1. Turbina
2. Extractores De Calor
3. Disipadores de Calor
4. Celdas Peltier

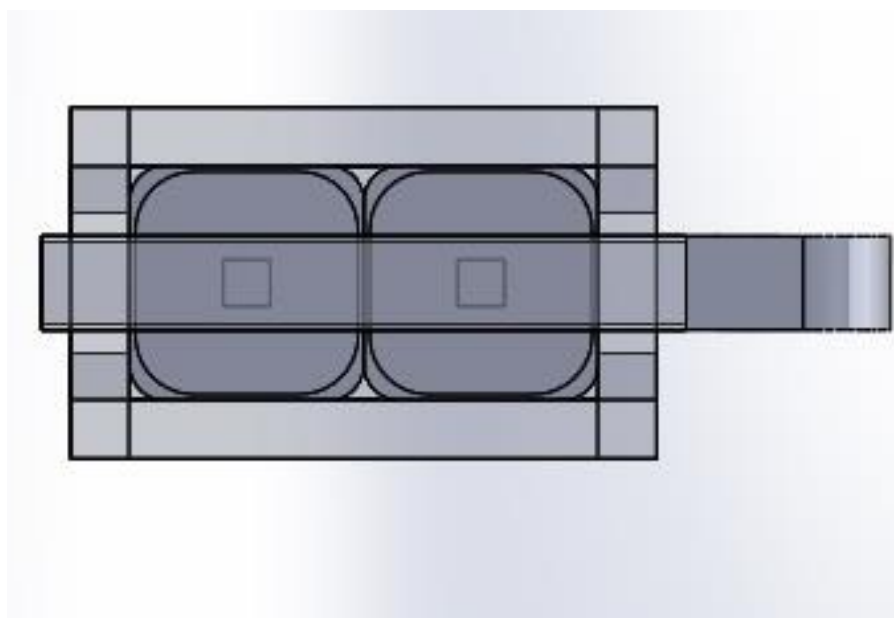


Figura 19. Vista Superior Deshumidificador

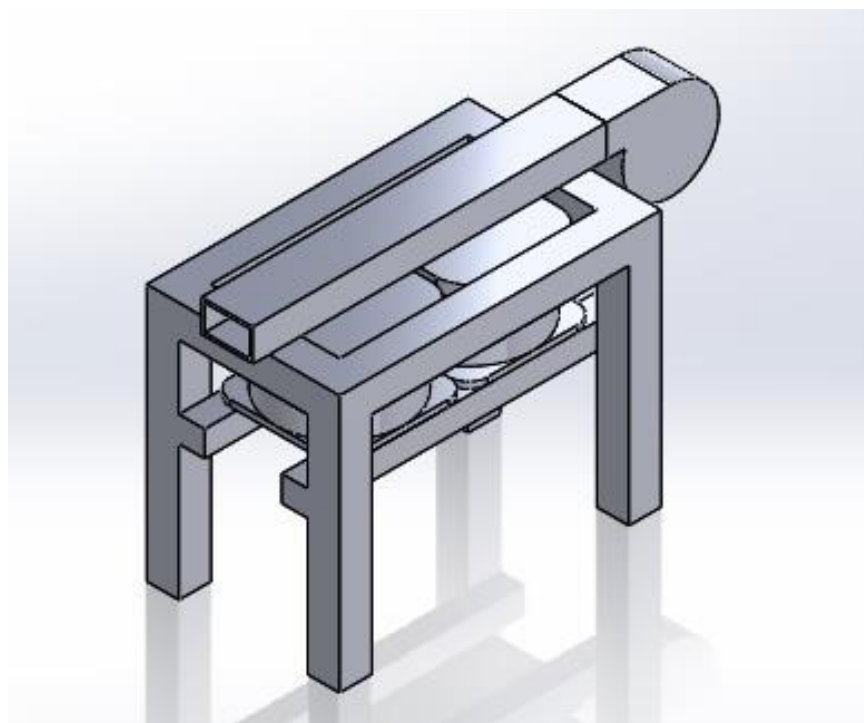


Figura 20. Vista en Isométrico Deshumidificador

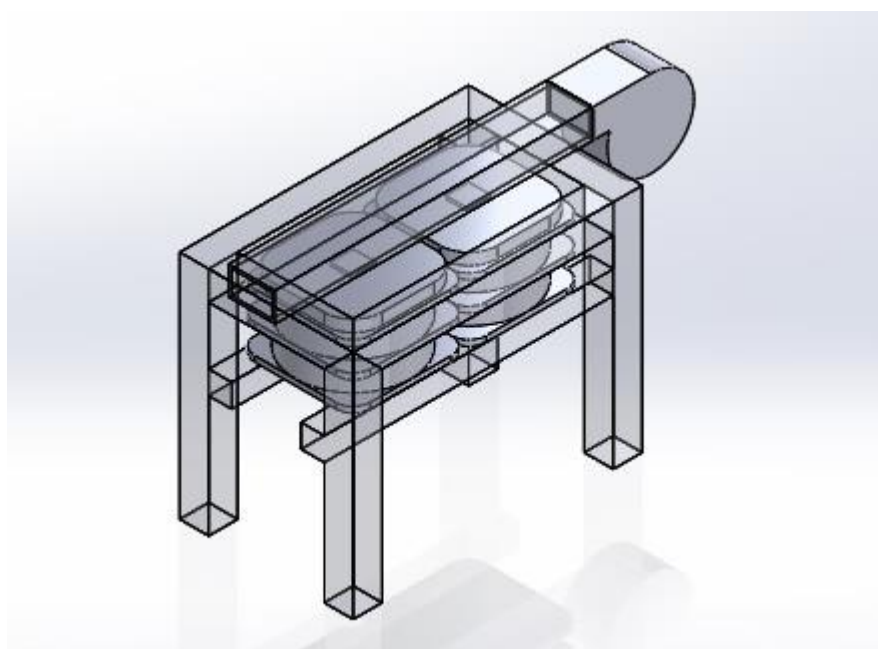


Figura 21. Vista en Isométrico con Mesa Traslucida Deshumidificador

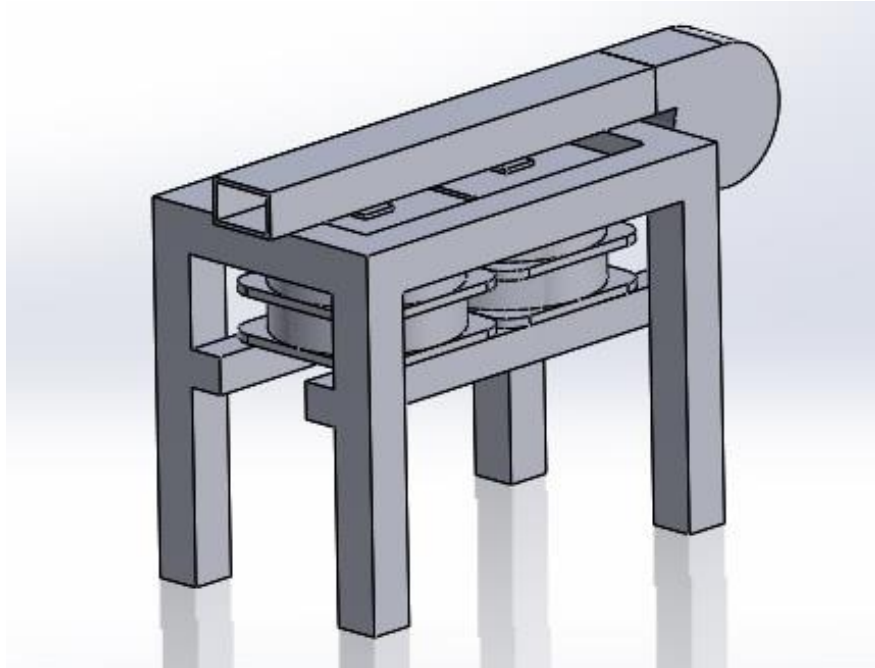


Figura 22. Vista Complementaria Deshumidificador

3.1.5. Homogenización

- Se dispuso un ventilador de baja potencia (Cooler 9mm) para homogenizar las condiciones de temperatura y humedad relativa dentro de la cámara de modo que no cause turbulencia, garantizando un flujo homogéneo y laminar.

3.1.6. Módulo generador de condiciones iniciales

- Se diseñó un sistema de enfriamiento para poder llevar el equipo a la temperatura y humedad relativa de partida (temperaturas más baja y humedad relativa más baja).[11]

3.1.7. Módulo de enfriamiento

Para el crear un flujo de aire frío que recorra el interior de la cámara de simulación; se creó una caja contenedora en la cual se vierte el material refrigerante y al interior de esta se encuentra un tubo construido en lámina de zinc y en su interior un espiral para reducir la velocidad del aire y dar tiempo a que la temperatura descienda, el flujo de aire es creado por un ventilador circular, (tipo bomba de vacío), de alta potencia alimentado a 24 V DC, en la parte superior de la cámara de enfriamiento se encuentra una tapa por la cual se introduce una tizana con material higroscópico [11]

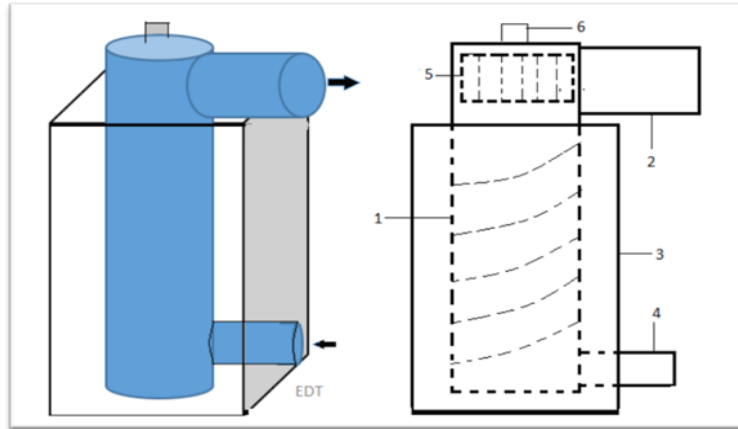


Figura 23. Caja de enfriamiento [11]

1. Tuvo conductor con espiral interior.
 2. Salida aire frio.
 3. Caja contenedora.
 4. Toma de aire.
 5. Ventilador de alta potencia.
 6. Acceso para material higroscópico
- Para el monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad relativa, dentro de la cámara se utilizaron dos sensores DHT22 especiales para Arduino, los datos registrados por los DHT22 son llevados al sistema central donde son procesados y mostrados en una pantalla LCD, el sistema central es el que toma las decisiones para encender y apagar el ventilador de la caja de calefacción según los parámetros indicados por el operador.
 - Se diseñó un sistema de control proporcional para homogenizar las condiciones dentro de la cámara según el resultado del análisis de los datos recolectados por los sensores, este control es realizado por el ATmega 2560 (unidad central programable encargada del funcionamiento de todo el sistema).
 - Dado que el Arduino usado en este proyecto es bastante sensible todos los sistemas están opto-acopados al Arduino con un circuito embebido AD 620 para evitar corrientes de fuga que puedan causar posibles daños en el ATmega 2560, y según la ficha técnica del Arduino para garantizar un correcto funcionamiento no se deberá exigir más del 70% de la capacidad nominal en corriente. [11]

Etapa 3

3.1.8. Diseño del Módulo de Control

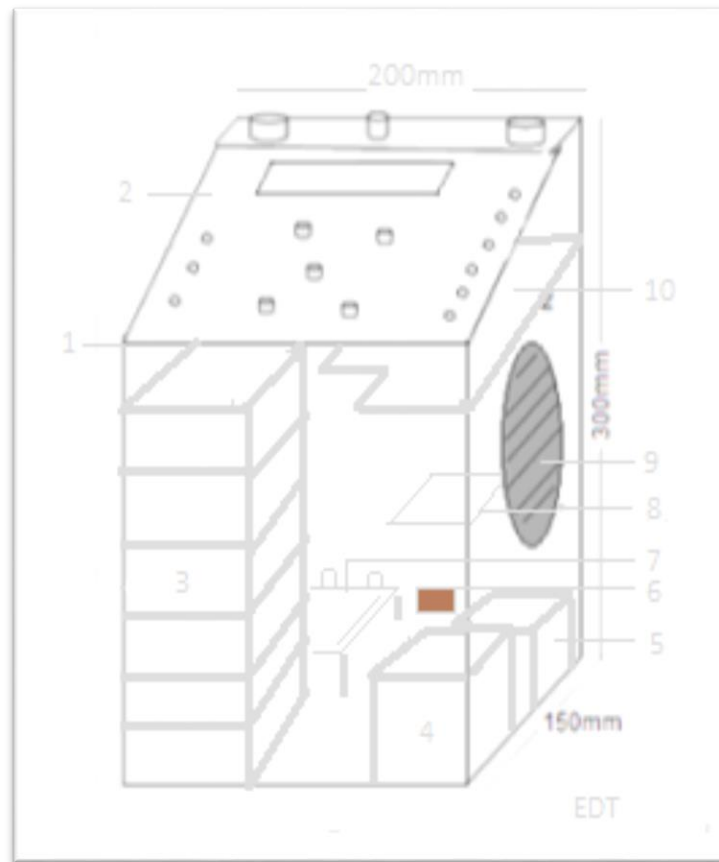


Figura 24. Módulo de Control [11]

Partes de la unidad de control:

2. **Módulo de control:** Modulo encargada del control y funcionamiento de todo el sistema de la cámara de simulación.
3. **Panel de control:** El panel contiene todos los elementos de interfaz con el usuario, posee elementos:
 - a. De poder, indicador de conexión, fusible y botón de encendido.
 - b. De visualización, pantalla LCD.
 - c. De control, 5 botones que permiten controlar el sistema.
 - d. De indicación, 6 luces indicadoras de proceso y 3 luces indicadoras de error.

4. Torre control de potencia, consta de 5 circuitos administrados por la unidad central de proceso y funcionan como interfaz entre los circuitos que se alimentan a 110 V y la placa Arduino.
5. Transformador 12 V AC.
6. Transformador 24 V AC.
7. Jac conector fuente de poder.
8. Placa Arduino, unidad central de proceso programable.
9. Fuente nano variable, fuente rectificadora variable entre 5 V DC y 24 V DC
10. Ventilador, refrigera el interior de la unidad de control.
11. Circuitos de control, placa de circuitos encargada de administrar todas las luces de control y proceso, así como el encendido y la distribución de corriente AC a 110 V. [11]

3.1.9. Etapa de Potencia



Figura 25. Fuente de Poder [17]

Los módulos de la cámara son alimentados por una fuente de poder ATX-600WP4, la cual tiene las siguientes características:

- 20+4 Pins.
- 2 Cable Sata.
- Cooler 8 cm.
- Conector 8 Pines (corei7)
- 230V/60Hz/8A.

- Orange: +3.3V 35A
- Red : +5V 40A
- Yellow: +12V 20A
- White : -5V 0.5A
- Blue : -12V 0.5A
- Purple : +5VSB 2.5A
- Green : PS-ON
- Black : COM GND
- Brown : POK

La fuente de poder anteriormente mencionada es pertinente para este trabajo de grado debido a sus conectores que proporcionan +5V que son necesarios para la alimentación de la placa Arduino, pantalla LCD y los sensores de temperatura y humedad, +12V que son utilizados para alimentar los ventiladores, extractores, celdas Peltier y la turbina.

3.1.10. Monitoreo de la Cámara

- Para el monitoreo de las condiciones de temperatura y humedad relativa, dentro de la cámara se utilizaron dos sensores DHT22 especiales para Arduino, los datos registrados por los DHT22 son llevados al sistema central donde son procesados y mostrados en una pantalla LCD, el sistema central es el que toma las decisiones para encender y apagar el ventilador de la caja de calefacción según los parámetros indicados por el operador. [11]
- Según la normatividad INTI procedimiento específico PEC16 capítulo 8 numerales 8.1, 8.2 y 8.3, el termohigrómetro IBC (Instrumento Bajo Calibración) que se utilizó en este proyecto de investigación, TERMOHIGROMETRO DIGITAL REFRENCIA 850115 [18]
- Se diseñó un sistema de control proporcional para homogenizar las condiciones dentro de la cámara según el resultado del análisis de los datos recolectados por los sensores, este control es realizado por el ATmega 2560 (unidad central programable encargada del funcionamiento de todo el sistema). [11]
- Dado que el Arduino usado en este proyecto es bastante sensible todos los sistemas están opto-acopados al Arduino con un circuito embebido AD 620 para evitar corrientes de fuga que puedan causar posibles daños en el ATmega 2560, y según la ficha técnica del Arduino para garantizar un correcto funcionamiento no se deberá exigir más del 70% de la capacidad nominal en corriente. [11]

Capítulo 4

4.1. Resultados

- Con el diseño del prototipo de deshumidificador basado en celdas Peltier se lograron los objetivos planteados.
- Con el objetivo de mejorar los resultados se encontró que con una configuración diferente de las celdas Peltier y los disipadores se puede lograr menor tiempo de deshumidificación.
- De los tres modelos diseñados, el modelo 3 dio mejor eficiencia en cuanto a bajar la humedad relativa dentro la cámara climática.



Figura 26. Modelo 1

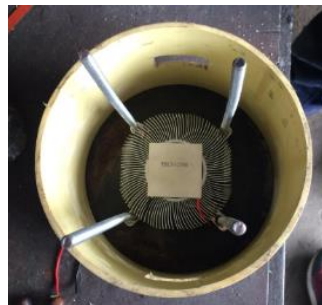


Figura 27. Modelo 2

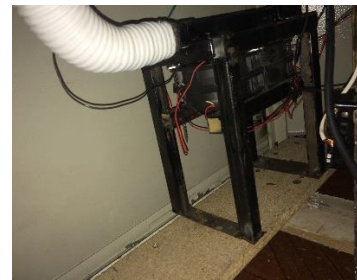
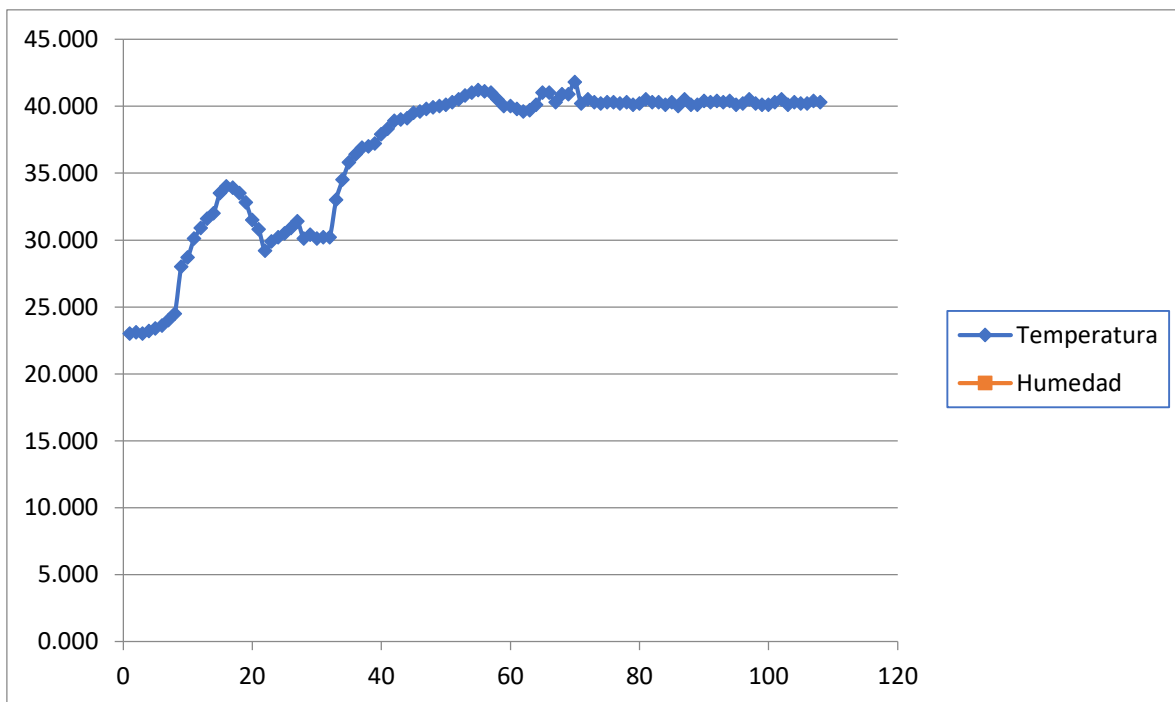
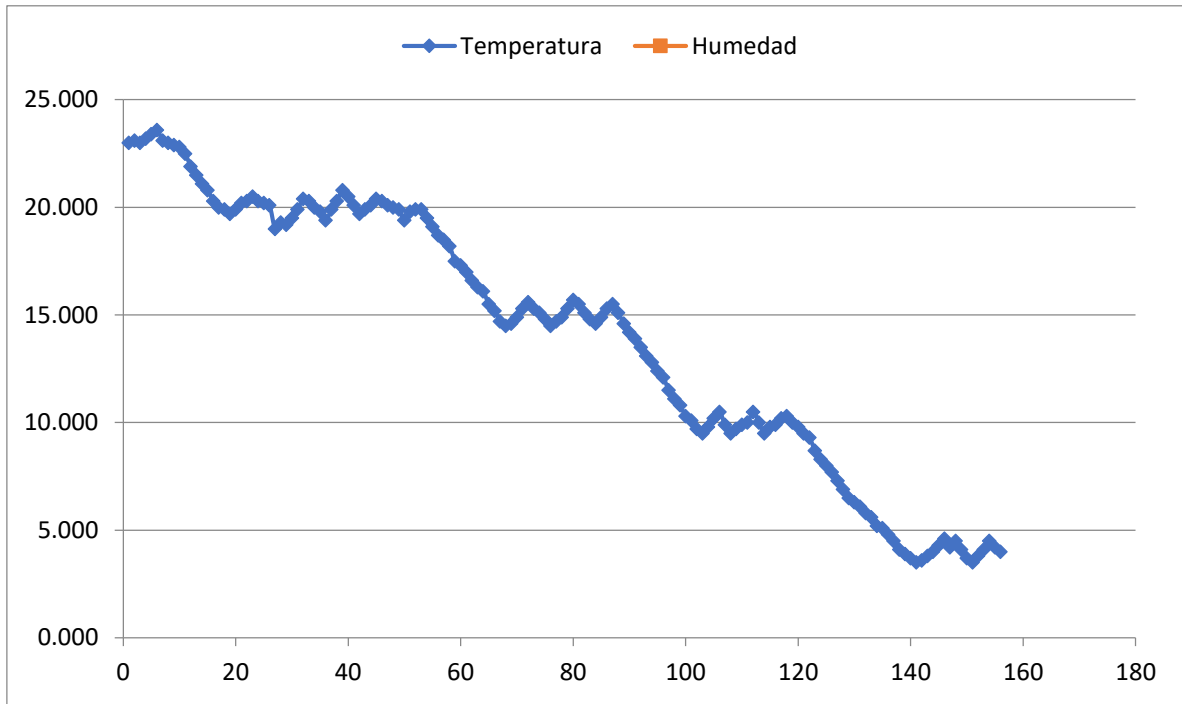


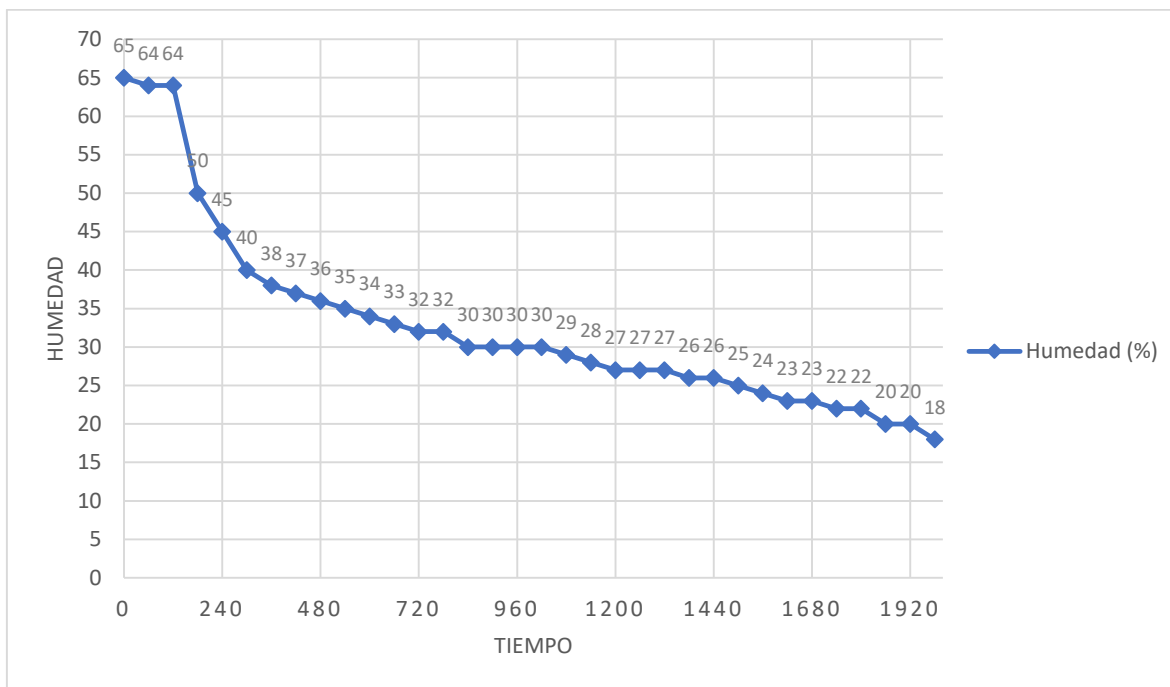
Figura 28. Modelo 3



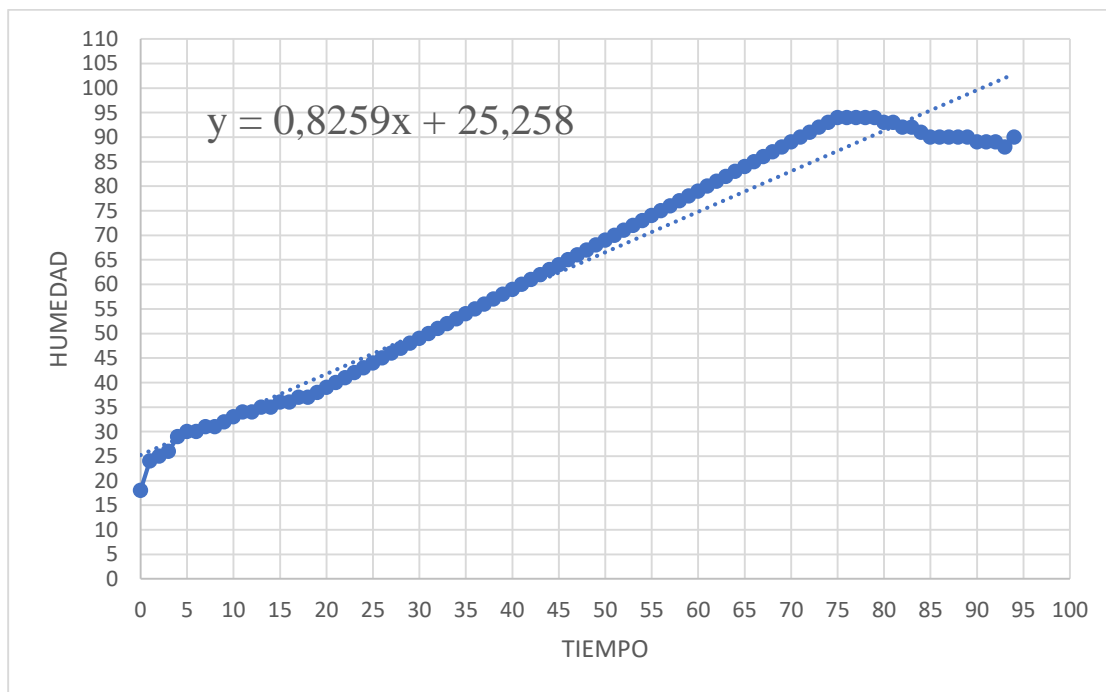
Gráfica 2. Temperatura Ambiente de 23 a 40 Grados Celsius



Gráfica 3. Temperatura Ambiente de 23 a 4 Grados Celsius



Gráfica 4. Comportamiento de la Humedad Relativa con Temperatura Ambiente utilizando el deshumidificador con celdas Peltier, Rango:65 a 18 porciento.



Gráfica 5. Comportamiento de la Humedad Relativa con Temperatura Ambiente utilizando el humidificador de ultrasonido, Rango 18 a 90 porciento.

Capítulo 5

5.1. Presupuesto

HUMEDAD	Columna1	Columna2	Columna3	Columna4
ELEMENTO	REFERENCIA	CANTIDAD	\$UNITARIO	\$TOTAL
Transistor	BC547	1	1500	1500
Resistencia	470 OHM	1	100	100
Led	LUMINOSO	1	300	300
Resistencia	220 OHM	1	100	100
Diodo	1N4007	1	500	500
Relay	12V	1	1500	1500
Conector	HEADER POLARIZADO 3P	1	1000	1000
Bomera	PCB 1P	2	1000	2000
Humidificador	ULTRASONIDO	1	50000	50000
Baquelita universal	1.1 cm X 10 cm	1	3000	3000
Celda Peltier	12706	2	17000	34000
Disipador	INTEL	2	5000	10000
Extractor	INTEL	4	9000	36000
Turbina	12 V	1	23000	23000
Acople	15 cm X 20 cm	1	120000	120000
TOTAL		21		283000

Tabla 3. Presupuesto Módulo de Humedad

SUMATORIA DE TODO EL PRESUPUESTO	Columna1	Columna2
CIRCUITO	N° ELEMENTOS	VALOR
CALEFACCION	11	90000
VENTILACION	36	78000
SENSOR TEMPERATURA Y HUMEDAD	6	120000
HUMEDAD	21	283000
FUENTE DE PODER	19	70000
CONTROL	44	30600
ELEMENTOS ADICIONALES	21	459500
TOTAL, ELEMENTOS CIRCUITOS	158	1131100

Tabla 4. Presupuesto Total

Capítulo 6

6.1. Conclusiones

- Se concluye que con el uso de dos Celdas Peltier se logró deshumidificar la cámara climática, logrando bajar la humedad relativa a $18 \% \pm 4 \%$ con temperatura ambiente.
- Se observó que para lograr una humedad relativa de $18 \% \pm 4 \%$ dentro la cámara climática se tardó un largo periodo de tiempo, siendo así un método lento comparado con las cámaras climáticas que utilizan CO₂ para deshumidificar el ambiente.
- Se observó que la humedad relativa con respecto al tiempo y a la temperatura ambiente se comporta de manera lineal con una razón de cambio de 0,8 % por minuto hasta que alcanza la humedad de saturación.

Capítulo 7

7.1. Recomendaciones

- Se recomienda para futuras extensiones al proyecto utilizar más Celdas Peltier y disipadores para mejorar el tiempo de deshumidificación dentro la cámara climática.
- Se recomienda diseñar un sistema de control que permita el funcionamiento automático para garantizar la estabilidad de la humedad y temperatura dentro la cámara climática.

Capítulo 8

REFERENCIAS

[1] ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA – Adjunto trabajo completo en formato PDF.

[2] Metroindustrial- Adjunto cotización y características de la cámara controladora de humedad relativa.

[3] Certificada y acreditada por la Asociación Española de Normalización (AENOR).

[4] Alteración de la superficie ocular tras la exposición a un ambiente adverso creado en una cámara de ambiente controlado (cac). Realizado por María Jesús González García.

[5] Brian C. Cliff Ord “La Construcción y la Operación de una Cámara de simulación de Rocío” PDF

[6]

<http://www.lacomet.go.cr/descargas/metron/2016/d2/Conceptos%20basicos%20de%20metrologia.pdf>

[7] <http://cmap.upb.edu.co/rid=1LYKF3N6R-M7X3LD-JN/vim%202012%20esp.pdf>

[8]

<https://electromagnetismo2012a.wikispaces.com/file/view/Articulo+Metrologia+Industrial.pdf>

[9] <https://hernanleon1002.wordpress.com/fisica-de-fluidos-y-termodinamica/segundo-corte/marco-teorico/temperatura/>

[10] <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/humedad-relativa-especifica-absoluta/>

[11] Universidad Tecnológica De Pereira- Adjunto trabajo completo en formato PDF.

[12] <https://nikolasbuitragoj.wordpress.com/segundo-corte/consultas/temperatura/como-medir-la-temperatura/tipos-y-usos-de-los-termometros/>

[13] <https://davidrodriguez2206.wordpress.com/tipos-de-termometros/>

[14] <http://www.laanunciataikerketa.com/trabajos/eguraldia/higrometro.pdf>

[15] <http://descargas.cetronic.es/EstudioPeltier.pdf>

[16] https://www.laboratoriometrologico.com/sitio/contenidos_mo.php?it=273

[17] <http://www.krovers.com/tienda/ups-fuentes/125-fuente-atx-generica-xtreme-600w-24pin.html>

[18] <https://www.inti.gob.ar/fisicaymetrologia/pdf/pcc/pec16.pdf>